

# Make: Electronics



# Make: Electronics

Learning by Discovery

Charles Platt

*with photographs and illustrations by the author*

O'REILLY®

Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Taipei • Tokyo



**Чарльз Платт**

# **Электроника для начинающих**

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»  
2012

УДК 621.382  
ББК 32.85  
ПЗ7

**Платт Ч.**

ПЗ7 Электроника для начинающих: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 480 с.: ил. — (Электроника)

ISBN 978-5-9775-0679-3

В ходе практических экспериментов рассмотрены основы электроники и показано, как проектировать, отлаживать и изготавливать электронные устройства в домашних условиях. Материал излагается последовательно от простого к сложному, начиная с простых опытов с электрическим током и заканчивая созданием сложных устройств с использованием транзисторов и микроконтроллеров. Описаны основные законы электроники, а также принципы функционирования различных электронных компонентов. Показано, как изготовить охранную сигнализацию для защиты от проникновения в дом, елочные огни, электронные украшения для одежды, устройство преобразования звука, кодовый замок, автономную роботизированную тележку и др. Приведены пошаговые инструкции и более 500 наглядных рисунков и фотографий.

*Для начинающих радиолюбителей*

УДК 621.382  
ББК 32.85

**Группа подготовки издания:**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Главный редактор        | <i>Екатерина Кондукова</i>                     |
| Зам. главного редактора | <i>Игорь Шишигин</i>                           |
| Зав. редакцией          | <i>Григорий Добин</i>                          |
| Перевод с английского   | <i>Бориса Бондаренко, канд. физ.-мат. наук</i> |
| Редактор                | <i>Юрий Рожко</i>                              |
| Компьютерная верстка    | <i>Артура Каретина</i>                         |
| Корректор               | <i>Наталья Першакова</i>                       |
| Оформление обложки      | <i>Марины Дамбиевой</i>                        |

© BHV-St.Petersburg, 2012

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Electronics, 1st Edition. ISBN: 978-0-596-15374-8. Copyright © 2009, Helpful Corporation. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

Авторизованный перевод английской редакции книги Make: Electronics, 1-е издание. ISBN: 978-0-596-15374-8. Copyright © 2009, Helpful Corporation. Перевод опубликован и продается с разрешения O'Reilly Media, Inc., собственника всех прав на публикацию и продажу издания.

Подписано в печать 06.04.12.  
Формат 84×108<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 50,4  
Тираж 2000 экз. Заказ №  
«БХВ-Петербург», 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Первая Академическая типография «Наука»  
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия, 12/28.

ISBN 978-0-596-15374-8 (англ.)  
ISBN 978-5-9775-0679-3 (рус.)

© 2009, Helpful Corporation  
© Перевод на русский язык «БХВ-Петербург», 2012

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ОБ АВТОРЕ ..... IX

Как получить удовольствие при чтении этой книги .....xi

Изучай, совершая открытия .....xi

## ПРЕДИСЛОВИЕ ..... XI

Насколько сложным это будет? .....xii

Ориентация по тексту этой книги .....xiii

Фундаментальные сведения .....xiv

## БЛАГОДАРНОСТИ..... XVII

## ГЛАВА 1 ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТА В ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНИКИ.... 1

Список необходимых покупок для экспериментов с 1 до 5 .....1

Эксперимент 1. Проверьте напряжение на вкус! .....6

Эксперимент 2. Давайте сожжем батарейку! .....11

Эксперимент 3. Ваша первая схема.....18

Эксперимент 4. Изменение напряжения .....23

Эксперимент 5. Давайте сделаем батарейку .....43

## ГЛАВА 2 ОСНОВЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И МНОГОЕ ДРУГОЕ .....53

Список необходимых покупок для экспериментов с 6 по 11 .....53

Эксперимент 6. Очень простое переключение .....58

Эксперимент 7. Включение светодиодов с помощью реле.....73

Эксперимент 8. Релейный генератор .....81

Эксперимент 9. Время и конденсаторы .....90

Эксперимент 10. Транзисторное переключение.....97

Эксперимент 11. Модульный проект .....110

## ГЛАВА 3 ОБРАЩЕНИЕ К БОЛЕЕ СЕРЬЕЗНЫМ ВЕЩАМ .....125

Список необходимых покупок для экспериментов с 12 по 15 .....125

Эксперимент 12. Соединение двух проводов вместе .....136

Эксперимент 13. Сжигание светодиода .....150

Эксперимент 14. Пульсирующий свет .....154

Эксперимент 15. Переработанная схема охранной сигнализации...168

|  |                |
|--|----------------|
| <b>ГЛАВА 4 МИКРОСХЕМЫ, ПРИВЕТ!.....</b>  | <b>195</b>     |
| Список необходимых покупок для экспериментов с 16 по 24.....                             | 195            |
| Эксперимент 16. Генерирование импульсов .....  | 204            |
| Эксперимент 17. Установка тональности звука .....  | 219            |
| Эксперимент 18. Таймер для определения реакции человека .....                            | 232            |
| Эксперимент 19. Изучение логики.....   | 253            |
| Эксперимент 20. Кодовый замок.....   | 277            |
| Эксперимент 21. Игра с равными шансами на победу.....                                    | 289            |
| Эксперимент 22. Переключение и дребезг .....   | 300            |
| Эксперимент 23. Игра в кости .....   | 305            |
| Эксперимент 24. Завершенная охранная сигнализация.....                                   | 317            |
| <br><b>ГЛАВА 5 ЧТО ДАЛЬШЕ? .....</b>   | <br><b>323</b> |
| Список необходимых покупок для экспериментов с 25 по 36.....                             | 324            |
| Организация вашего рабочего места .....  | 324            |
| Источники информации.....  | 331            |
| Эксперимент 25. Магнетизм .....  | 335            |
| Эксперимент 26. Настольный генератор напряжения.....                                     | 340            |
| Эксперимент 27. Вскрытие динамика.....   | 344            |
| Эксперимент 28. Процесс реагирования катушки<br>индуктивности.....                       | 348            |
| Эксперимент 29. Фильтрация частот .....  | 352            |
| Эксперимент 30. Фузз.....  | 362            |
| Эксперимент 31. Ни какой пайки, ни какого источника питания —<br>только одно Радио!..... | 369            |
| Эксперимент 32. Маленькая роботизированная тележка.....                                  | 378            |
| Эксперимент 33. Передвижение шагами.....   | 402            |
| Эксперимент 34. Аппаратное обеспечение встречает<br>программное обеспечение .....        | 416            |
| Эксперимент 35. Проверка реального мира .....  | 436            |
| Эксперимент 36. Кодовый замок, повторное обращение .....                                 | 443            |
| Источники продаж через Интернет и сайты производителей.....                              | 453            |
| <br><b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>  | <br><b>453</b> |
| <br><b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>   | <br><b>457</b> |



Чарльз Платт (Charles Platt) стал известен, как компьютерный специалист, еще в 1979 году, когда он работал в американской компании Ohio Scientific Inc. (OSI) над проектом компьютера Challenger 4P. После написания и продажи программного обеспечения по заказу товаров по электронной почте он проводил занятия по изучению программирования на языке BASIC, изучению операционной системы MS-DOS и в последующем программ Adobe Illustrator и Photoshop. В 1980-х годах он написал пять книг, посвященных компьютерам.

Он также написал две научно-фантастические книги: “The Silicon Man” («Кремниевый человек»), сначала опубликованную издательством Bantam, а позднее Wired Books, и книгу Protektor («Протектор»), опубликованную издательством Avon Books. Научную фантастику он перестал писать, когда в 1993 году начал работать в журнале Wired, в котором через несколько лет стал одним из трех основных авторов.

Чарльз начинал сотрудничать с журналом МАКЕ еще с его третьего номера и в настоящее время является ответственным редактором. Представленная книга — это его первая книга в серии Make Books. В настоящее время он занимается проектированием и изготовлением опытных образцов медицинского оборудования в своей мастерской в пустыне на севере Аризоны.



# ПРЕДИСЛОВИЕ

## КАК ПОЛУЧИТЬ УДОВОЛЬСТВИЕ ПРИ ЧТЕНИИ ЭТОЙ КНИГИ

Каждый из нас пользуется электронными устройствами, но большинство не знает, что происходит у них внутри.

Конечно, вам может показаться, что это вам знать и не нужно. Если вы управляете автомобилем без детального понимания того каким образом работает двигатель внутреннего сгорания, то совершенно так же, по-видимому, вы можете пользоваться iPod без каких-либо знаний об интегральных схемах. Однако понимание основ электричества и электроники может быть полезным по трем причинам.

- Изучая основы электроники, вы получаете больше возможностей управлять миром вместо того, чтобы позволять ему управлять вами. Если вы проникаете в суть проблем, то будете в состоянии решать их, а не испытывать неприятные ощущения, связанные с их наличием.
- Изучение электроники можно сделать приятным препровождением времени при условии, конечно, правильного подхода к этому процессу. Необходимые при этом приборы и инструменты относительно дешевы; кроме того, вы можете проделать всю работу прямо на вашем рабочем столе и не потратите на это много времени (до тех пор, пока вы сами не захотите посвятить больше времени этому занятию).
- Знание электроники повысит вашу ценность, как работника, или, возможно, откроет новое направление для карьеры.

## ИЗУЧАЙ, СОВЕРШАЯ ОТКРЫТИЯ

Большинство начальных руководств начинается с определений и фактов, а затем постепенно они подводят читателя к моменту, когда можно, действуя в соответствии с инструкциями, наконец-то собрать какую-нибудь простую схему.



**Рис. П1.** Изучение, совершая открытия, дает возможность начать собирать простые схемы сразу же, используя горсть недорогих элементов, несколько батареек и зажимов типа «крокодил»

В этой книге все совершенно по-другому. Я хочу, чтобы вы начали с соединения элементов схем прямо сейчас. После того, как вы увидите, что в результате получилось, вы начнете понимать, что происходит. Я верю, что *процесс изучения, совершая открытия* (рис. П1), дает возможность получить гораздо более обширные и твердые знания.

Познание мира путем совершения открытий происходит при выполнении серьезных научных исследований, когда ученые замечают необычное явление, которое не может быть объяснено в рамках существующей теории, и тогда они начинают изучать его, стараясь найти ему объяснение. Это в конечном итоге может привести к лучшему пониманию мира.

Мы собираемся делать то же самое, но, конечно, на менее амбициозном уровне.

На этом пути вы, скорее всего, будете совершать некоторые ошибки. И это хорошо. Ошибки это самое полезное, что способствует процессу изучения. Я хочу, чтобы вы при проведении экспериментов сжигали электронные компоненты и выводили их из строя, потому что это даст вам возможность понять, каковы предельно допустимые параметры различных деталей и материалов. Поскольку мы будем использовать только низкие напряжения, то вам не грозит опасность поражения электрическим током и до тех пор, пока вы не превысите значений тока, которые я предлагаю, у вас не будет риска сжечь пальцы и устроить пожар.



### ***Не превышайте допустимых пределов!***

*Хотя я верю, что все предлагаемое в этой книге совершенно безопасно, то полагаю, что вы будете находиться в рамках тех предельных значений, которые я буду обозначать. Пожалуйста, всегда следуйте инструкциям и уделяйте внимание предупреждениям, которые выделяются приведенным здесь значком. Если вы будете превышать эти пределы, то подвергнете себя ненужному риску.*

## **НАСКОЛЬКО СЛОЖНЫМ ЭТО БУДЕТ?**

Я исхожу из того, что вы приступаете к этому процессу, не имея каких-либо предварительных знаний в области электроники. Поэтому первые эксперименты будут очень простыми, и при этом вы не будете использовать даже паяльник или макетные платы при монтаже схем. Вы будете соединять провода с помощью зажимов типа «крокодил».

Очень быстро вы станете выполнять эксперименты с транзисторами, и в конце *главы 2* будете иметь дело со схемами с вполне конкретным полезным применением.

Я не верю, что такое хобби, как электроника, может вызывать затруднения при его освоении. Конечно, если вы хотите изучить электронику более фундаментально и создавать свои собственные проекты схем, то это может стать достаточно трудным делом. Но в этой книге используемые приборы, инструменты и вспомогательные материалы достаточно дешевы, задачи четко определены, а из области математики вам потребуется знание только сложения, вычитания, умножения, деления и способность переносить десятичную точку из одной позиции в другую.

## ОРИЕНТАЦИЯ ПО ТЕКСТУ ЭТОЙ КНИГИ

Материал в книгах такого типа обычно приводится в двух формах: обучающее руководство и разделы со справочной информацией. Я собираюсь пользоваться обоими этими способами. Обучающее руководство можно найти в разделах, озаглавленных следующим образом:

- Список необходимых покупок
- Используемые приборы и инструменты
- Эксперименты

А разделы со справочной информацией озаглавлены, как:

- Фундаментальные сведения
- Теория
- Базовые сведения
- Важные сведения

Как пользоваться этими разделами, полностью зависит от вас. Вы можете пропускать справочные разделы и возвращаться к ним позднее. Но если вы будете пропускать разделы, относящиеся к обучающему руководству, то эта книга не окажется для вас действительно полезной. Изучение, совершая открытия, означает, что вы, безусловно, должны что-то сделать своими руками, а для этого надо приобрести некоторые основные электронные компоненты и «поиграть» с ними. Будет мало толку, если вы будете только лишь представлять, что пользуетесь ими.

Очень просто и достаточно дешево можно приобрести все то, что вам потребуется. Независимо от городского или сельского проживания для большинства районов США велика вероятность того, что вы живете вблизи магазина, который торгует электронными компонентами и некоторыми основными приборами и инструментами, необходимыми для работы с этими компонентами. Я, конечно, имею в виду магазины компании RadioShack. В некоторых из них ассортимент больше, чем в других, но в любом случае вы найдете в них все, что вам нужно.

Кроме того, вы можете посетить магазины запасных частей для автомобилей, как, например, AutoZone и Pep Boys, с целью приобретения таких основных компонентов, как соединительные провода, предохранители и переключатели. А в таких магазинах, как Ace Hardware, Home Depot и Lowe's, вы сможете купить необходимые приборы и инструменты.

Если вы предпочитаете покупать по почте, то сможете легко найти то, что вам нужно, осуществляя поиск в Интернете. В некоторых разделах этой книги я привожу адреса веб-сайтов наиболее популярных интернет-ресурсов, а полный список веб-сайтов вы найдете в *Приложении*.

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

### Заказ компонентов, приборов и инструментов по почте

Здесь я привожу основные ресурсы почтовой торговли, которые есть в Интернете (рис. П2) и которыми пользуюсь:

**<http://www.radioshack.com>**

Сайт компании RadioShack, известной также как The Shack. Специализируется на продаже приборов, инструментов и компонентов. Не всегда они здесь самые дешевые, но этим сайтом очень легко и удобно пользоваться, а некоторые приборы и инструменты именно те, которые вам и понадобятся.

**<http://www.mouser.com>**

или **<http://ru.mouser.com>** для России

Сайт компании Mouser electronics

**<http://www.digikey.com>**

Сайт компании Digi-Key Corporation

**<http://www.newark.com>**

Веб-сайт Newark

Компании Mouser, Digi-Key и Newark являются хорошими поставщиками компонентов, которые обычно требуются в небольших количествах.

**<http://www.allelectronics.com>**

Сайт компании All Electronics Corporation. Предоставляет довольно ограниченный ассортимент компонентов, которые специально подобраны для любителей электроники. Здесь же предлагаются готовые электронные наборы.

<http://www.ebay.com>

или на русском языке <http://ebayworld.ru>

На этом ресурсе вы можете приобрести излишки или товары по сниженным ценам, но вам понадобится пересмотреть несколько ресурсов eBay, чтобы найти то, что вам нужно. Тот ресурс, который, например, базируется в Гонконге, предлагает все очень недорого, и я считаю, что это вполне надежные компоненты.

<http://www.mcmaster.com>

Сайт компании McMaster-Carr особенно полезен, когда надо приобрести приборы и инструменты высокого качества.

Магазины Lowe's (сайт <http://www.lowes.com>) и Home Depot (сайт <http://www.homedepot.com>) также распространяют свои товары по Интернету.

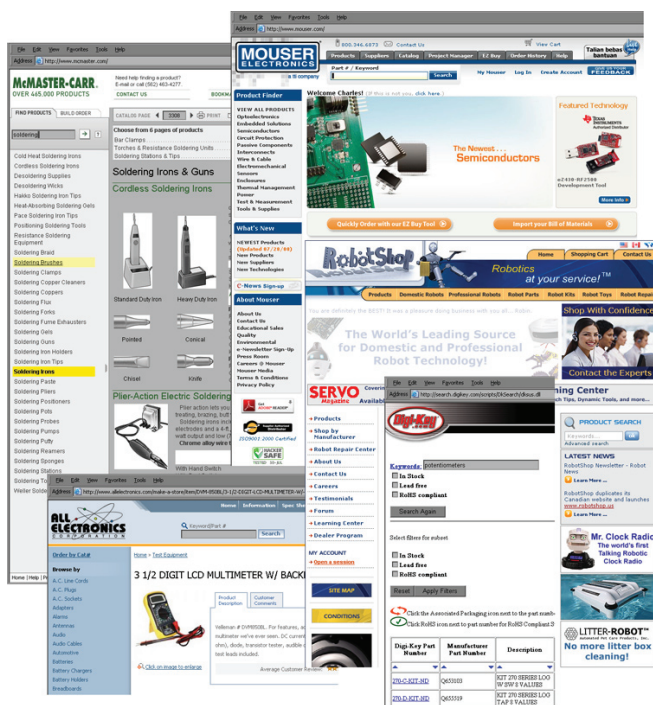


Рис. П2. Вы обнаружите, что в Интернете можно приобрести любые компоненты, приборы, инструменты, наборы и различные оригинальные устройства

## Сопутствующий набор

Компания Maker Shed ([www.makershed.com](http://www.makershed.com)) предлагает специальные сопутствующие наборы *Make: Electronics*, в которых присутствуют все необходимые приборы и инструменты, а также некоторое количество различных компонентов, использующихся в экспериментах этой книги.

Это простой, удобный и экономичный способ приобретения всех необходимых приборов, инструментов и материалов, которые вам понадобятся для выполнения всех экспериментов, приведенных в данной книге.

## Английский вариант книги

Для английского варианта книги создана страница в Интернете, на которой приведены: список обнаруженных ошибок, примеры, более подробные версии рисунков, которые использовались в книге, и некоторая другая дополнительная информация. Вы можете зайти на эту страницу по адресу:

**<http://oreilly.com/catalog/9780596153748>**

Для того чтобы прислать комментарии и задать технические вопросы по английскому варианту книги, можно послать ваше электронное сообщение по адресу:

**[bookquestions@oreilly.com](mailto:bookquestions@oreilly.com)**

Получить более подробную информацию о книгах издательства O'Reilly, конференциях, ресурсных центрах и сети O'Reilly Network можно на веб-сайте издательства:

**<http://oreilly.com>**

## Цифровая библиотека Safari® Books Online

Safari Books Online (**<http://www.safaribooksonline.com>**) это цифровая библиотека, предоставляющая информацию по запросам, где вы сможете легко выполнить поиск среди 7,5 тысяч технических и креативных информационных книг и видеоматериалов для быстрого получения ответов на интересующие вас вопросы.

Подписавшись, вы можете читать любую страницу и смотреть любое видео из нашей онлайн-библиотеки. Читайте книги с помощью ваших мобильных телефонов и других средств мобильной связи. Доступ к новым названиям можно получить еще до появления их в печати, таким образом, вы можете стать обладателем эксклюзивного доступа к рукописям в процессе их создания, а также получить возможность общаться по электронной почте с авторами книг. Копируйте и вставляйте образцы кодов, чтобы организовать интересующие вас ссылки, загружайте главы, закладки ключевых разделов, делайте пометки, распечатывайте страницы и получайте множество преимуществ от других функций, которые сэкономят время.

Издательство O'Reilly Media загрузило английский вариант этой книги в Интернет — в цифровую библиотеку Safari Books Online. Чтобы получить доступ к данной книге и другим аналогичным изданиям от издательства O'Reilly и других издателей бесплатно, обратитесь по адресу **<http://my.safaribooksonline.com>**.



# БЛАГОДАРНОСТИ

Мое сотрудничество с журналом MAKE началось с того момента, когда его издатель, Марк Фрауенфельдер (Mark Frauenfelder), попросил меня написать для них. Я всегда был очень признателен Марку за его поддержку моей работы. Благодаря ему я познакомился с исключительно способными и мотивированными на достижения конечного результата сотрудниками журнала MAKE. Гарет Бранвин (Gareth Branwyn) со временем предположил, что возможно захотел бы написать руководство по электронике для начинающих, поэтому у меня есть долг перед Гаретом за его инициативу запустить этот проект и курировать его в качестве моего редактора. После того, как я написал примерный план, в котором описал идею издания «Изучай, совершая открытия» и связанной с ней концепции, где демонтаж компонентов и их сжигание может стать обучающим фактором, издатель данной книги Дейл Догерти (Dale Dougherty) произнес незабываемую фразу «Я хочу эту книгу!» Поэтому я особенно благодарен Дейлу за его веру в мои способности. Ден Вудс (Dan Woods), ассоциированный издатель, также был очень и очень полезен.

Процесс производства был стремительным, полноправным и безболезненным. За это я должен выразить благодарность таким людям, как мой редактор в издательстве O'Reilly Брайан Джепсон (Brian Jepson); старший выпускающий редактор Рейчел Монагхан (Rachel Monaghan); литературный редактор Ненси Котари (Nancy Kotary); корректор Ненси Райнхардт (Nancy Reinhardt); составитель индекса Джулия Хокс (Julie Hawks); дизайнер Рон Болодью (Ron Bilodeau) и Роберт Романо (Robert Romano), который обработал мои иллюстрации. Больше всего я обязан Банни Хуангу (Bunnie Huang), моему техническому консультанту, который подробно изучил этот текст и нашел массу недостатков, о которых я не подозревал. Любые оставшиеся ошибки лежат на моей совести, хотя я бы предпочел обвинить в них Банни.

Благодарен Мэтту Метсу (Matt Mets), Беки Стерн (Becky Stern), Колину Канингхэму (Collin Cunningham), Марку де Винку (Marc de Vinck), Филиппу Торрону (Phillip Torrone), Лимору Фрейду (Limor

Fried), Джону Эдгару Парку (John Edgar Park), Джону Бейшталлю (John Baichtal) и Джонатану Вульффу (Jonathan Wolfe) за помощь при самом последнем тестировании проекта.

Наконец, я должен упомянуть гениальных людей Джона Варнока (John Warnock) и Чарльза Гешке (Charles Geschke), основателей системы Adobe Systems и создателей замечательного языка программирования PostScript, который сделал революцию во всем издательском деле. Ужас от того, что пришлось бы делать попытку создавать эту книгу, используя другие графические средства от ... какой-то другой компании... представить практически невозможно. Фактически без таких программ, как Illustrator, Photoshop, Acrobat и InDesign, сомнительно, чтобы я решился на выполнение этой задачи. Я также обязан камере Canon 1Ds со 100-миллиметровым макрообъективом, с помощью которого было получено большее количество фотографий, представленных в этой книге.

Не было получено никаких бесплатных образцов или какой-либо другой помощи от любого из поставщиков оборудования, упомянутых здесь, за исключением двух образцов книг журнала MAKE, которые я читал, чтобы быть уверенным в том, что я не включил какие-либо вещи, которые уже были опубликованы.

# ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТА В ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНИКИ

## Глава 1

Я хочу дать почувствовать вам вкус к электронике — буквально! — при выполнении первого эксперимента. В этой главе книги вы узнаете:

- как с полным пониманием выполнять измерения основных электрических величин;
- как обращаться и как соединять элементы схемы не допуская воздействия на них больших нагрузок, а также не повреждая и не выводя их из строя.

Даже если вы уже имеете какие-либо предварительные знания в электронике, все равно будет очень полезно, если вы выполните эти эксперименты перед началом своего путешествия по всем остальным страницам этой книги.

## СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 1 ДО 5

Если вы хотите уменьшить количество посещений магазина или количество покупок через Интернет, то посмотрите списки того, что надо купить, в остальных частях книги и, объединив их, купите все сразу целиком.

В этой главе для каждого инструмента и компонента, которые мы будем использовать, я приведу все номера деталей и места, где их можно купить (более подробную информацию о поставщиках см. в *Предисловии*). Впоследствии я не думаю, что вам потребуется специальная информация такого рода, поскольку вы уже получите свой собственный опыт поиска необходимых позиций.

### В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 1 по 5

Эксперимент 1.  
Проверьте напряжение на вкус!

Эксперимент 2.  
Давайте сожжем батарейку!

Эксперимент 3.  
Ваша первая схема

Эксперимент 4.  
Изменение напряжения

Эксперимент 5.  
Давайте сделаем батарейку

### Примечание

Компания Maker Shed ([www.makershed.com](http://www.makershed.com)) разместила на сайте ряд сопутствующих наборов Make: Electronics (Электроника своими руками). В эти наборы входят все необходимые инструменты и компоненты, используемые в экспериментах, описанных в данной книге. Приобретение таких наборов — это быстрый, простой и экономичный способ получения всего того, что необходимо для выполнения всех устройств, описанных в этой книге.

## Приборы и инструменты

### Маленькие плоскогубцы

RadioShack Kronus 4,5 дюйма, номер детали 64–2953 или длинноносые мини-плоскогубцы Xcelite 4 дюйма, модель L4G.

Или аналогичные им компоненты (рис. 1.1–1.3). Ищите эти инструменты в хозяйственных магазинах или в местах, которые перечислены в *Предисловии*. Торговая марка (бренд) не имеет значения. После какого-то времени их использования у вас появятся свои собственные предпочтения. Практически вы должны решить только один момент — нравится ли вам работать с подпружиненными ручками или нет. Если вы решили, что нет, то вам наверняка понадобится вторая пара плоскогубцев, чтобы вынуть пружины из первой.



**Рис. 1.1.** Стандартные длинноносые тонкогубцы это основной инструмент, который используется для фиксации, изгиба и захвата упавших деталей

### Кусачки

RadioShack Kronus 4,5 дюйма, номер детали 64–2951 или Stanley 7 дюймов модель 84–108.

Или аналогичные им компоненты. Следует использовать их для перекусывания медных проводов, а не проволоки из более твердых металлов (рис. 1.4).

### Мультиметр

Модели Extech EX410, или BK Precision 2704-B, или Amprobe 5XP-A, или аналогичные им компоненты. Поскольку электричество невидимо, нам нужен инструмент для визуализации



**Рис. 1.2.** Длинноносые тонкогубцы: они очень полезны для работы в местах с ограниченным доступом



**Рис. 1.3.** Плоскогубцы с острыми носиками были сконструированы для изготовления ювелирных изделий, но также полезны и для захвата компонентов малого размера



**Рис. 1.4.** Кусачки для проводов, иногда именуемые бокорезами, также очень важны

разности потенциалов (напряжения) и протекающего тока (силы тока), а тестер это единственный способ решить эту проблему. Для ваших начальных экспериментов будет вполне достаточно возможностей недорогого тестера. Если вы покупаете его через Интернет, то надо посмотреть, что пишут о продавце, поскольку надежность купленного недорогого товара может оказаться под большим вопросом. Вы можете приобрести этот товар в розничных магазинах, которые предлагают наилучшую цену. Не следует забывать о поиске на интернет-аукционе eBay.

Измерительный прибор может быть цифровым, но не следует забывать и об устаревшем аналоговом приборе со стрелкой, которая перемещается вдоль установленной шкалы с нанесенными на нее делениями. В этой книге предполагается, что вы пользуетесь прибором с цифровым дисплеем.

Я полагаю, что вы не станете покупать прибор с автоматической настройкой диапазона измерения. «Автоматическое изменение диапазона» звучит, как нечто полезное, например, когда



**Рис. 1.5.** На моем собственном любимом мультиметре вы можете заметить следы износа и даже царапины. У него есть все необходимые основные функции, и он может измерять емкость (диапазоны обозначены буквой «F»). Кроме того, с его помощью можно проверить исправность транзисторов. Однако при работе с этим мультиметром диапазоны измерения надо устанавливать вручную



**Рис. 1.6.** Мультиметр RadioShack из среднего ценового диапазона, который имеет все основные функции; однако имеется двойное назначение каждой позиции дискового переключателя, уточняемое с помощью кнопки SELECT, что, безусловно, приводит к некоторым трудностям. Тем не менее этот прибор имеет автоматическое определение диапазона измерения



**Рис. 1.7.** Мультиметр, произведенный компанией Extech, имеет автоматическое определение диапазона измерения, обладает всеми основными функциями. Кроме того, в приборе имеется датчик температуры, который может быть полезен для определения температуры разогрева некоторых компонентов, например блоков питания

вы хотите проверить батарейку напряжением 9 В, то такой прибор сам определит, что вы не пытаетесь измерить напряжением величиной в сотни вольт, а также величиной доли вольт. Проблема состоит в том, что это может стать причиной совершения вами ошибок. А что если батарейка уже почти разряжена? Тогда при измерении вы можете получить в результате доли вольт, не понимая, что вы на самом деле меряете. Единственная выводимая информация, на которую при этом можно легко не обратить внимание, это небольшая буква «m», которая в данном случае будет указывать на «милливольты» и будет находиться на дисплее мультиметра справа от больших цифр.

Если же у вас прибор с ручным выбором диапазона измерения, а источник измеряемого напряжения имеет напряжение за пределами установленного диапазона, то мультиметр будет информировать вас о том, что вы делаете ошибку. Я предпочитаю именно этот вариант. Кроме того, меня раздражает то время, которое тратится прибором для срабатывания функции автоматического определения диапазона при каждом выполнении измерения. Однако все это относится к индивидуальным предпочтениям. На рис. 1.5–1.7 приведены примеры некоторых мультиметров.

## Расходуемые материалы

### Батарейки

Батарейка типа «Крона» с напряжением 9 В. Количество — 1 шт.

Батарейка типа AA с напряжением 1,5 В. Количество — 6 шт.

Батарейки должны быть щелочными — они не создадут нам проблем при их утилизации, поскольку некоторые из них мы можем вывести из строя. Вы должны категорически отказаться от использования аккумуляторных батареек в *экспериментах 1 и 2*.

### Держатели для батареек и разъемы

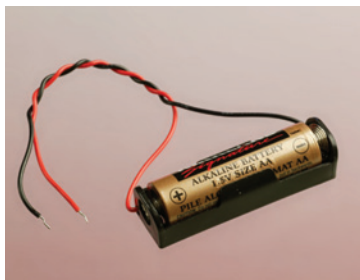
Разъем для подключения 9-вольтовой батарейки типа «Крона» с припаянными проводами (рис. 1.8). Количество — 1 шт. Номер детали 270–325 от RadioShack или аналогичные ей. Подойдет любой аналогичный разъем с присоединенными к нему проводами.

Держатель для одной батарейки типа AA с присоединенными к нему проводами (рис. 1.9). Количество — 1 шт. Номер детали 270–401 RadioShack или номер 12BH410-GR в каталоге на сайте компании Mouser Electronics или аналогичные им; подойдет любой держатель для одной батарейки с присоединенными проводами.

Держатель для четырех батареек типа AA с присоединенными проводами (рис. 1.10). Количество — 1 шт. Номер ВН-342



**Рис. 1.8.** Разъем для подключения батарейки типа «Крона» напряжением 9 В



**Рис. 1.9.** Держатель для одной батарейки размера AA с присоединенными проводами



в каталоге All Electronics или номер 270–391 компании RadioShack или аналогичные им.

### Зажимы типа «крокодил»

Зажимы типа «крокодил» с виниловой изоляцией (красные и черные). Количество — не менее 8 шт. По каталогу All Electronics номер ALG-28 или номер детали RadioShack — 270–1545 или аналогичные им (рис. 1.11).

## Компоненты

Вы можете не знать для чего предназначены некоторые из этих деталей или что они делают. Поэтому пока обращайтесь внимание только на номера деталей и описания, а также на их соответствие тем деталям, которые изображены на фотографиях, приведенных в данной книге. В процессе изучения с помощью открытий смысл всех этих деталей очень скоро станет вам понятен.

### Предохранители

Автомобильные с ножевыми контактами, с мини-лезвиями, на 3 А. Количество — 3 шт. Номер детали RadioShack — 270–1089 или деталь Bussmann — ATM-3, которые доступны у таких поставщиков, как, например, AutoZone (рис. 1.12).

Подойдут и аналогичные им, однако предохранители с ножевыми контактами легче захватывать «крокодилами», чем предохранители круглого типа.

### Потенциометры

С возможностью крепления на панели, роторного типа, однооборотные, с линейным изменением сопротивления, номиналом 2 кОм, мощностью не менее 0,1 Вт. Количество — 2 шт. Деталь Alpha — RV170F-10–15R1-B23 или деталь BI Technologies — P160KNPD-2QC25B2K по каталогу компании Mouser Electronics или других поставщиков компонентов (рис. 1.13).

Подойдут и аналогичные этим компоненты. Обозначение с отметкой «Ватт» (Ватты) означает максимальную мощность, которую может рассеять данный компонент. Вам не понадобятся потенциометры мощностью более 0,5 Вт.

### Резисторы

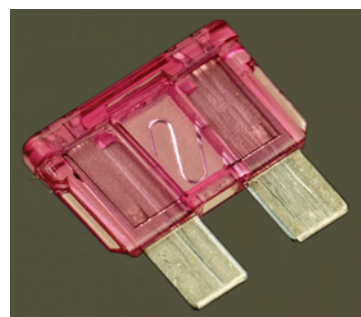
Набор резисторов мощностью минимум 0,25 Вт, различного номинала, но обязательно должны быть в наличии сопротивлением 470 Ом, 1 кОм и 2 кОм или 2,2 кОм.



**Рис. 1.10.** Держатель для четырех батареек типа AA, которые должны быть подключены последовательно, создавая источник с напряжением 6 В



**Рис. 1.11.** Зажимы типа «крокодил» с виниловой цветной изоляцией, которая уменьшает вероятность случайного возникновения короткого замыкания



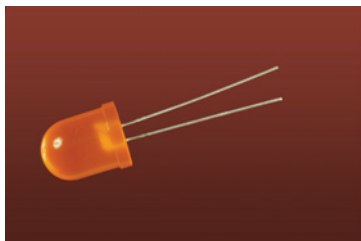
**Рис. 1.12.** Предохранитель номиналом 3 А, используемый в автомобильной промышленности; на рисунке показан в увеличенном масштабе



**Рис. 1.13.** Потенциометры продаются в разнообразном исполнении по форме и размеру, с различной длиной осей для разного типа ручек. Для наших целей годится любая форма, но с потенциометрами больших размеров легче обращаться



**Рис. 1.14.** Типичный светодиод диаметром 5 мм



**Рис. 1.15.** Светодиод большого размера (диаметром 10 мм) обладает большой яркостью свечения, которая в данном случае не нужна, и к тому же такой светодиод стоит дороже. В принципе для большинства экспериментов, приведенных в этой книге, можно купить любые светодиоды, которые вам больше понравятся



**Рис. 1.16.** Шаг 1 в процессе обучения с помощью открытий: тестирование 9-вольтовой батарейки с помощью языка

Количество — не менее 100 шт., RadioShack номер детали 271–312.

Можно поискать в Интернете на аукционе eBay с запросом «resistor assorted» (резисторы различного номинала).

### Светодиодающие диоды (светодиоды)

Светодиоды (LED — light-emitting diodes) любого размера или цвета (рис. 1.14 и 1.15). Количество — 10 шт. Номер детали RadioShack — 276–1622 или All Spectrum Electronics — K/LED1 в каталоге на сайте компании Mouser Electronics.

Подойдут и аналогичные им компоненты. Для первых экспериментов пригодятся любые светодиоды.

## Эксперимент 1 ПРОВЕРЬТЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ВКУС!

Можно ли ощутить на вкус электричество? Наверное — нет, но в данном случае, похоже, что вы это сможете сделать.

Вам понадобятся:

- батарейка типа «Крона» с напряжением 9 В;
- разъем для подключения батарейки;
- мультиметр.

### Порядок действий

Смочите слюной ваш язык и коснитесь его кончиком металлических контактов 9-вольтовой батарейки. Резкое быстрое покалывание, которое вы почувствуете, будет связано с потоком электрических зарядов, перемещающихся от одного вывода батарейки к другому (рис. 1.16) по влаге, которой смочен ваш язык. Поскольку кожа вашего языка очень тонкая (это практически слизистая мембрана) и нервы расположены очень близко к его поверхности, вы можете очень легко ощутить этот поток.



#### Не более 9 В!

Батарейка с напряжением 9 В не представляет для вас какой-либо угрозы. Но не пытайтесь повторять этот эксперимент с батарейкой с более высоким напряжением или батарейкой большего размера, которая в состоянии поддерживать силу тока большой величины. Также, если у вас есть металлические коронки на зубах, то будьте очень внимательны, чтобы не коснуться их контактами батарейки.

После этого высуньте ваш язык, очень тщательно протрите его кончик салфеткой и повторите эксперимент, не допуская повторного увлажнения языка. Теперь покалывание уменьшится.



Что же произошло? Нам понадобится тестер, чтобы разобраться в этом.

## Приборы и инструменты

### Выполнение настройки вашего тестера

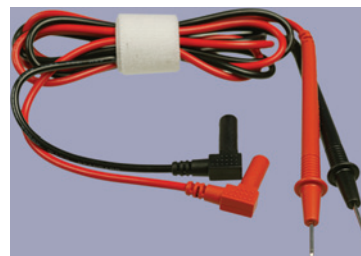
Прочитайте инструкции, которые имеются в комплекте поставки вашего мультиметра, чтобы определить нужно ли в него установить питающую батарейку или же он куплен с уже установленной батарейкой.

Большинство приборов имеют съемные *измерительные провода*, известные еще, как *измерительные щупы* или просто *щупы*. Кроме того, многие приборы имеют три гнезда на передней панели; крайнее левое обычно резервируется для измерения больших значений токов. В данном случае это гнездо нам не понадобится.

Измерительные провода обычно бывают черного и красного цвета (рис. 1.17). Вилка черного щупа вставляется в гнездо с отметкой «COM» или «Common» (общий). Вилка красного провода вставляется в гнездо с отметкой «V» или «volts» (вольты) (рис. 1.18).

Другие концы измерительных проводов имеют металлические острия, которые называют *иглами щупа* или *наконечниками щупа*, которыми надо касаться компонентов при выполнении электрических измерений. Наконечники щупа предназначены для измерения электрических параметров; они не являются источниками большого электрического заряда. Поэтому они не могут нанести вам какую-нибудь травму, если только вы не поранитесь об их кончики.

Если ваш мультиметр не имеет функции автоматического выбора диапазона измерений, то каждая позиция дискового переключателя режимов и диапазонов измерения соответствует определенному числу. Это число означает «не больше чем». Например, вы хотите проверить напряжение батарейки номиналом 6 В, а у переключателя диапазонов в разделе измерения напряжения «V»



**Рис. 1.17.** Вилка черного измерительного щупа вставляется в общее гнездо «COM» (Common), а вилка красного — в гнездо, которое обычно является самым правым гнездом мультиметра



**Рис. 1.18.** Чтобы измерить сопротивление и напряжение, нужно вставить черный измерительный провод в гнездо «COM», а красный в гнездо «V». Почти все мультиметры имеют отдельное гнездо, в которое вставляют красный измерительный провод только при необходимости выполнить измерение силы тока большой величины в амперах, но мы познакомимся с этой процедурой позднее

имеется позиция 2 и следующая за ней позиция 20 (см. рис. 1.5), позиция 2 означает, что «измеряемое напряжение не должно быть больше 2 вольт». Поэтому в данной ситуации вам надо переключиться на следующую позицию, которая означает, что «измеряемое напряжение не должно быть более 20 вольт».

Если же вы сделали ошибку и пытаетесь выполнить какое-либо неправильное измерение, то тестер отобразит сообщение об ошибке, например, «E» (error) или «L» (lapse). Измените положение переключателя и выполните измерение снова.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Омы

Мы измеряем расстояние в милях или километрах, вес в фунтах или килограммах, температуру в градусах Фаренгейта или Цельсия, а электрическое сопротивление в омах. Ом является международной единицей измерения (входит в систему СИ).

В международном обозначении сопротивления в омах используется греческая буква омега — «Ω», как это показано на рис. 1.19–1.20, а в русском обозначении «Ом». Буква «К» (или альтернативное обозначение «KΩ») соответственно в русском обозначении «кОм») означает килоом, что равно 1000 Ом (табл. 1.1). Буква «М» (или «MΩ» — в русском обозначении «МОм») означает мегаом, что равно 1 000 000 Ом.

Таблица 1.1

| Количество Ом | Обычно произносится, как | Сокращение в международном обозначении | Сокращение в русском обозначении |
|---------------|--------------------------|--|----------------------------------|
| 1000 ом       | 1 килоом                 | 1KΩ или 1K                             | 1 кОм                            |
| 10 000 ом     | 10 килоом                | 10KΩ или 10K                           | 10 кОм                           |
| 100 000 ом    | 100 килоом               | 100KΩ или 100K                         | 100 кОм                          |
| 1 000 000 ом  | 1 мегаом                 | 1MΩ или 1M                             | 1 МОм                            |
| 10 000 000 ом | 10 мегаом                | 10M Ω или 10M                          | 10 МОм                           |

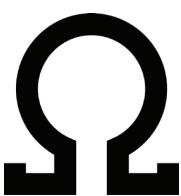


Рис. 1.19. Греческая буква омега используется в качестве международного обозначения сопротивления в омах

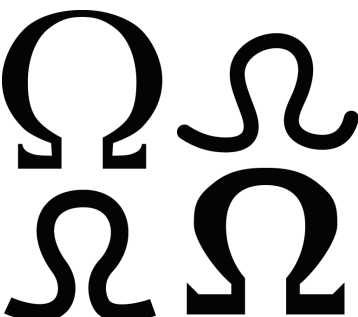


Рис. 1.20. Вы можете встретить различные виды изображения данного символа

Материал, о котором известно, что он обладает очень большим сопротивлением, называют *изолятором*.

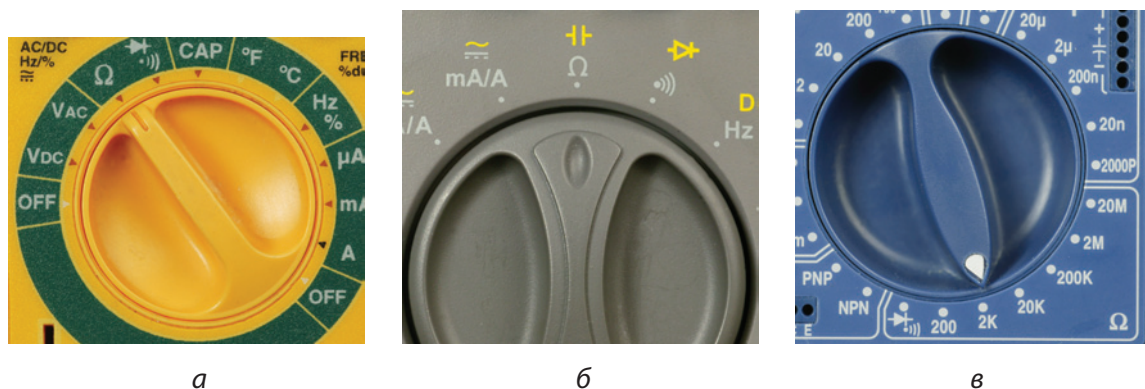
Большинство пластмасс и синтетических материалов, включая цветное покрытие проводов, являются изоляторами.

А материал, который имеет очень низкое сопротивление, называют *проводником*.

Такие металлы, как медь, алюминий, серебро и золото, являются отличными проводниками.

## Порядок действий при измерении сопротивления

Мы собираемся использовать мультиметр для определения сопротивления вашего языка. Сначала переключите прибор в режим измерения сопротивления. Если у него есть функция автоматического определения диапазона измерения, то вы увидите, что он отображает букву «К», что означает килоомы, или букву «М», что означает мегаомы. Если же вы должны установить диапазон вручную, то начинать нужно со значения не менее 100 000 Ом (100 кОм). Примеры выбора режима и диапазона измерения показаны на рис. 1.21.



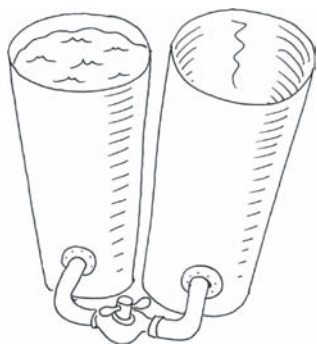
**Рис. 1.21.** Чтобы измерить сопротивление в омах, нужно повернуть переключатель режимов в положение для измерения сопротивления. На мультиметре этот режим обозначен греческой буквой омега —  $\Omega$ . При использовании прибора с функцией автоматического выбора диапазона измерения (а и б) вы можете несколько раз нажать кнопку Range (диапазон) (см. рис. 1.6–1.7) для отображения различных диапазонов измерения сопротивления или просто прикоснуться концами измерительного щупа к резистору и дождаться пока прибор не выберет диапазон автоматически. В мультиметре с ручным выбором диапазона измерения (в) требуется установить переключатель диапазонов на соответствующее значение. Чтобы измерить сопротивление кожи вы должны установить диапазон «100K» или больше. Если же вам не удалось установить нужный диапазон, то следует попробовать другой

Коснитесь концами измерительных щупов вашего языка в точках, расстояние между которыми будет около одного дюйма (25,4 мм). Посмотрите на результат измерения, он должен быть около 50 кОм. Затем отложите измерительные щупы, высушите язык и тщательно протрите его насухо. Не допуская повторного увлажнения языка, повторите тест, прибор в этом случае должен показать более высокое значение. Наконец, прикоснитесь концами измерительных щупов к вашей руке или кисти: вы можете вообще не получить каких-либо результатов до тех пор, пока не увлажните кожу руки.

В 9-вольтовой батарейке содержатся химические вещества, которые освобождают электроны (частицы-носители электрического заряда), создающие в результате химической реакции внутри корпуса батарейки ток от одной клеммы к другой. Для простоты внутреннее устройство батарейки можно представить

### Примечание

Когда ваша кожа увлажнена (например, вашим потом), ее электрическое сопротивление уменьшается. Этот принцип используется в детекторе лжи, поскольку когда кто-либо лжет, вследствие стресса у него начинает выступать пот.



**Рис. 1.22.** Представьте внутреннее устройство батарейки в виде двух цилиндрических баков: один из них заполнен водой, а другой пустой. Откройте вентиль соединительной трубки между ними и поток воды будет проходить по ней до тех пор, пока уровни в обоих баках не сравняются. Чем меньшее сопротивление испытывает вода при перетекании, тем мощнее будет поток



**Рис. 1.23.** Георг Симон Ом после награждения за свою новаторскую работу, большую часть которой он выполнил в относительной безвестности

в виде двух водяных баков, один из которых полный, а другой — пустой (рис. 1.22). Если их соединить трубой, то поток воды начнет перетекать из одного в другой до тех пор, пока уровень воды не выровняется. Аналогичным образом, как только вы между двумя выводами батарейки подключаете какую-либо цепь для протекания электрического тока, создается поток электронов между полюсами, даже если этой цепью является всего лишь влажный кончик вашего языка.

Поток электронов может легче проходить через одни проводящие среды (как например, мокрый язык) по сравнению с другими (например, сухой кончик языка).

## БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

### Человек, который открыл сопротивление

Георг Симон Ом, изображенный на рис. 1.23, родился в Баварии в 1787 г. И работал в безвестности большую часть своей жизни. Он изучал природу электричества, используя металлическую проволоку, которую сделал для себя сам (вы не смогли бы спуститься в подвал дома для того, чтобы достать моток проволоки в начале 1800-х годов).

Несмотря на свои ограниченные ресурсы и недостаточные математические способности, Ом в 1827 г. оказался в состоянии доказать, что электрическое сопротивление проводника, например меди, имеет прямо пропорциональную зависимость от поперечного сечения этого проводника, а ток, который протекает через него, пропорционален напряжению, приложенному к нему при постоянной температуре. Через 14 лет Королевское научное общество Великобритании в Лондоне окончательно признало значение его вклада и удостоило его своей высшей наградой — медалью Копли (Copley Medal). Сегодня это открытие известно, как *закон Ома*.

## Дальнейшие исследования

Присоедините разъем для подключения батарейки (он был показан ранее на рис. 1.8) к 9-вольтовой батарейке типа «Крона». Возьмите два провода, которые присоединены к контактам разъема, и держите их таким образом, чтобы оголенные концы проводов находились всего лишь в нескольких миллиметрах друг от друга. Коснитесь ими вашего языка. Затем увеличьте расстояние между проводами до нескольких дюймов и коснитесь языка снова (рис. 1.24). Заметили разницу?

Используя мультиметр, измерьте электрическое сопротивление вашего языка, на этот раз изменяя расстояние между двумя наконечниками измерительных щупов. Когда электрический ток

преодолевают меньшее расстояние, то он встречает на своем пути меньшее сопротивление. В результате сила тока (количество переносимого заряда в единицу времени) возрастает. Вы можете попытаться провести похожий эксперимент с вашей рукой, как это показано на рис. 1.25.

Попробуйте с помощью мультиметра измерить сопротивление воды. Растворите некоторое количество соли в воде и выполните свой опыт снова. Теперь попытайтесь измерить напряжение в дистиллированной воде (в чистом стакане).

Мир вокруг вас полон материалов, которые проводят электричество с различной степенью сопротивления.

## Наведение порядка и повторное использование компонентов

В ходе этого эксперимента ваша батарейка не должна быть повреждена или в значительной степени разряжена. Вы, разумеется, можете использовать ее снова.

После выполнения всех опытов не забудьте выключить ваш мультиметр.

## Эксперимент 2 ДАВАЙТЕ СОЖЖЕМ БАТАРЕЙКУ!

Чтобы лучше понять, что такое электрическая энергия, вы сделаете то, что в большинстве книг рекомендуется не делать. Вы закоротите батарейку. Закоротить это значит непосредственно, накоротко, соединить два вывода источника напряжения.



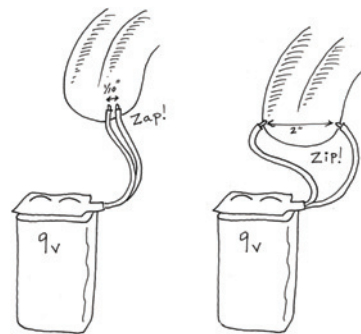
### Короткие замыкания

*Короткие замыкания могут быть очень опасными! Не следует замыкать накоротко контакты сетевой розетки в вашем доме! Это приведет к громкому хлопку, яркой вспышке, а провод или инструмент, который вы использовали бы для этой цели, будут расплавлены и разлетающиеся частицы расплавленного металла могут стать причиной ожога или повреждения глаз.*

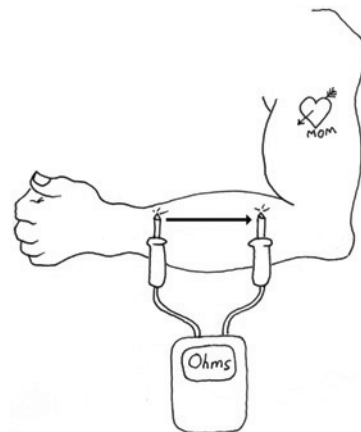
*Если вы закоротили автомобильный аккумулятор, то сила тока будет настолько большой, что батарея может даже взорваться, выплеснув на вас кислоту (рис. 1.26).*

*Литиевые батарейки тоже опасны в этом смысле. Никогда не следует закорачивать литиевую батарейку! Это может привести к возникновению пожара и обжечь вас (рис. 1.27).*

*Для этого эксперимента следует использовать только щелочную батарейку, причем только одну и типа AA (рис. 1.28). Вам следует надеть защитные очки на тот случай, если у вас окажется неисправная батарейка.*



**Рис. 1.24.** Изменяя опыт определения тока с помощью языка, можно показать, что чем меньше расстояние между проводами источника, тем меньше сопротивление языка и соответственно тем больше электрический ток, что чувствуется по росту болевого ощущения



**Рис. 1.25.** Смочите вашу кожу перед тем, как пытаться измерить ее сопротивление. Вы должны обнаружить, что сопротивление увеличивается по мере удаления друг от друга концов измерительных щупов. Сопротивление будет возрастать пропорционально этому расстоянию





**Рис. 1.26.** Всякий, кто ронял разводной ключ на оголенные клеммы аккумуляторной батареи автомобиля, скажет вам, что короткое замыкание может быть даже очень мощным при «всего лишь» 12 В



**Рис. 1.27.** Низкое внутреннее сопротивление литиевой батарейки (которая часто используется в ноутбуках) при замыкании приводит к достижению максимального значения тока с непредсказуемыми результатами. Никогда не теряйте бдительности вблизи литиевых батареек!



**Рис. 1.28.** Замыкание щелочной батарейки может быть безопасным, если вы будете точно следовать приведенным далее указаниям. Даже в этом случае батарейка может стать слишком горячей, что касание к ней может вызвать неприятные ощущения. Обращаю ваше внимание на то, что в эксперименте не следует использовать аккумуляторы любого типа!

Вам понадобятся:

- батарейка типа АА напряжением 1,5 В;
- держатель для одной батарейки;
- предохранитель на 3 А;
- защитные очки (для этой цели подойдут обычные очки или солнечные);
- зажимы типа «крокодил».

## Порядок действий

Возьмите щелочную батарейку. Обращаю внимание, что в эксперименте не следует использовать какой-либо аккумулятор!

Вставьте батарейку в держатель для одной батарейки с двумя тонкими изолированными проводами, отходящими от него, как это показано на рис. 1.28. В данном случае не следует применять держатель какого-либо другого типа.

Используя зажим типа «крокодил», соедините очищенные от изоляции концы проводов так, как показано на рис. 1.28. При этом не возникнет искры, поскольку вы используете только низковольтную батарейку с напряжением 1,5 В. Подождите одну минуту, и вы обнаружите, что провода разогрелись. Подождите еще минуту, и батарейка тоже станет горячей.