РУДОЛЬФ СВОРЕНЬ

ЭЛЕКТРОНИКА ШАГ ЗА ШАГОМ

ДМК ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО

УДК 621.3
ББК 32.85
С25

С25 Сворень Р. А.
Электроника шаг за шагом / под ред. Ю. В. Ревича. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 504 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-729-9

Первое издание практической энциклопедии радиолюбителя «Электроника шаг за шагом» Р. А. Свореня было выпущено в 1979 году и сразу завоевало широкую популярность. В него вошли рассказы об основах электротехники, электроники и радиотехники, о звукозаписи, телевидении, радиосвязи, электронной музыке, об автоматике и вычислительной технике.

Настоящая книга подготовлена на базе второго расширенного издания, вышедшего в 1986 году. Основная (учебная) часть оставлена почти без изменений; для привязки к современным реалиям и терминологии книга дополнена комментариями, а также «Практикумом» на основе современных компонентов.

Для широкого круга любителей электроники.

УДК 621.3
ББК 32.85

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-729-9

© Бениаминов А. С. (наследник), 2021
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2020



ГЛАВА 2
Встреча с электричеством

1. Мир, в котором мы живем, устроен намного сложнее, чем это кажется с первого взгляда. Если раздобыть где-нибудь машину времени, проехаться на ней в далекое прошлое и побеседовать с тамошним жителем, то он нарисует вам картину мира довольно-таки простую. В ней будет твердый потолок-небосвод, на котором закреплены тлеющие угольки-звезды, будут мельчайшие частицы вещества – пылинки, разделить которые, раздробить уже невозможно, будет трение, рождающее огонь, и холод, превращающий воду в лед, будет огромный шар-костер, который каждый день перекатывается по небосводу от одного его края до другого. И еще будут некоторые твердо установленные истины, по нынешней терминологии – законы природы. Например, такие: «дерево, пожираемое огнем, дает тепло», «в воде дерево не тонет, а камень тонет», «всякое тело стремится к земле: тяжелый камень, легкий лист, мягкая капля и пушистая снежинка – все падает на землю, тянется к ней по своей собственной воле».

Не торопитесь, пожалуйста, выводить своему далекому предку двойку по природоведению. Таким же, наверное, виделось бы окружающее любому из нас, если бы он вырос где-нибудь на необитаемом острове, без парового отопления и шариковых ручек, без магазинов «Гастроном» и журнала «Юный техник». А потом, если вдуматься, запас знаний человека древнего, необученного был не таким уж скудным, и в школе природы он никогда не был в числе отстающих.

Великая мастерица – эволюция – долго и тщательно работала над своим лучшим творением Человеком и снабдила его изумительными инструментами познания мира. Зрение, слух, обоняние, осязание, датчики температуры и давления, тонкие химические анализаторы вкуса и, наконец, изумительный компьютер мозг – все это открыло Человеку мир в огромном многообразии вещей и явлений. На школьном уроке, который длился тысячелетия, работая и наблюдая, замерзая и обжигаясь, в борьбе со стихиями, голодом и хищным зверьем, твердо усвоил Человек такие понятия, как «быстрый» и «медленный», «тяжелый» и «легкий», «теплый», «холодный», «далекий», «большой», «горький». В плоть и кровь человеческую вошли представления о плотности вещества и скорости движения, о массе,

размерах, времени, температуре – словом, важнейшие представления о мире, в котором нашим предкам приходилось жить и бороться за жизнь. Никакой другой житель планеты не имел столь детальной картины мира.

И все-таки...

И все-таки это была картина мира, созданная всего лишь диким обитателем лесов и пещер, собирателем плодов, охотником, имевшим в своем арсенале только палку и камень. Эту картину, конечно же, не сравнишь с тем, что знает современный человек, пассажир реактивного лайнера и владелец карманного плеера, исследователь живой клетки, строитель небоскребов, атомных реакторов, космических кораблей.

2. Человечество не быстро и не легко выясняло, как что устроено в природе. Сначала, наверное, лишь одинокие смельчаки решались перейти порог дозволенного, пытались увидеть больше, чем хочет показать природа. Эти безвестные академики сделали немало великих открытий и изобретений, таких, скажем, как рычаг, колесо, ориентировка по звездам, земледелие. И еще одно, наверное самое великое, – школа: человек научился передавать знания потомкам, с тем чтобы они не начинали все с самого начала, «с нуля», а могли бы пользоваться уже достигнутым. И идти дальше.

В далекой, уже невидимой древности начались бои на огромном фронте познания мира. Было время – линия этого фронта, линия, отделяющая знание от неизвестности, продвигалась вперед очень медленно. Века, тысячелетия уходили на то, чтобы понять какую-нибудь простую, как сейчас кажется, истину – задачи, которые приходилось решать древним мыслителям и исследователям, были для них столь же мучительно трудными, как и современные научные проблемы для ученых наших дней. Но с каждой новой победой, с их новым открытием росли силы наступающей армии, знание помогало добывать знание, все быстрее шли вперед передовые части науки. И вот уже восхищенное человечество рукоплещет глубоким прорывам в тайны жизни, в глубины вещества и просторы Вселенной, фантастическим успехам химии, медицины, астрофизики, энергетики, блистательным научным победам последних столетий, так сильно изменившим не только наше миропонимание, но и сам образ нашей жизни.

В нескольких популярных книгах о науке встречается интересный прием, помогающий почувствовать темпы человеческого прогресса в разные времена. Авторы сжимают масштаб времени в тридцать миллионов раз, так что каждый год прошлого превращается в секунду. Вот как располагаются некоторые события на такой сжатой шкале времени.

Примерно сто пятьдесят лет назад в неприметном уголке огромной Вселенной из газопылевого облака, окружавшего звезду Солнце, образовалась цепочка планет, и в их числе – наша Земля. Лет двадцать Земля остывала, а еще через десять на некоторых участках ее поверхности в теплых водах Мирового океана начались сложные химические процессы с образованием

больших молекул, началась предыстория жизни. Около ста лет назад появились первые примитивные живые клетки, а затем много десятилетий они совершенствовались, специализировались, объединялись в многоклеточные организмы. Лет десять–двенадцать назад появились рыбы и папоротники, пять лет назад – динозавры, которые, правда, уже через год исчезли с лица земли. Немногим более четырех лет назад в небо поднялись первые птицы, примерно через год начали появляться млекопитающие.

И только месяц прошел с тех пор, как из царства животных выделился человек.

3. Электрическая сила похожа на силу тяжести, но имеет совсем другую природу. Если бы мы захотели отметить на нашей сжатой шкале времени научные открытия, пусть даже не все, а только очень важные, то появилось бы на этой шкале огромное множество черточек. «Механизмы горения». «Разбегание галактик». «Кровообращение». «Молекулярное строение вещества». «Устройство живой клетки». «Шарообразность Земли». «Реактивное движение». «Циклы солнечной активности». «Деление атомных ядер». «Противомикробный иммунитет». «Химическая связь». «Подъемная сила крыла». «Синтетические волокна». «Синтетические алмазы». «Световой спектр». «Строение белка».

Из всего этого множества черточек-отметок несколько нужно было бы как-то выделить, скажем сделать их подлиннее или нарисовать другим цветом. Это были бы отметки, соответствующие особо важным открытиям, суперважным. Открытиям совершенно новых для человека, принципиально новых свойств окружающего мира.

Вы подняли с земли небольшой камушек, а затем разжали ладонь, и камушек падает вниз, тянется к земле. Почему? Так устроен мир, в котором мы живем, – все тела притягиваются друг к другу, стремятся сблизиться, и это явление мы называем гравитацией, гравитационным взаимодействием. Откуда оно берется? Почему действует именно так, а не иначе? Ответ все тот же – так устроен мир...

Один из примеров гравитационного взаимодействия – притягивание предметов к земле, то, что в нашем сознании связывается со словами «сила тяжести», «вес», «земное притяжение». Железный шар тянется к земле сильнее, чем деревянный, большой – сильнее, чем маленький. Характеристика какого-либо физического тела, которая показывает, насколько сильно, насколько активно это тело участвует в гравитационных взаимодействиях, называется его массой. Чем сильнее физическое тело – камень, железный или деревянный шар, капля воды, планета – тянется к другому физическому телу под действием гравитационных сил, тем, говорим мы, больше масса этого тела. А можно сказать так: чем больше массы взаимодействующих тел, тем сильнее их гравитационное притяжение. Кстати, именно поэтому такими легкими чувствуют себя космонавты на Луне: ее

масса меньше, чем масса Земли, и Луна тянет к себе в несколько раз слабее.

С гравитацией человек познакомился тогда, когда он еще не был Человеком. Мы привыкли к ней, считаем ее совершенно естественной и чуть ли не единственной силой, которая правит миром.

Но вот около двух с половиной тысяч лет назад древнегреческий философ и исследователь природы Фалес Милетский впервые отмечает, что у гравитации есть могучий соперник, ранее ловко скрывавшийся от людей. Обнаружилось, что если натереть шерстью янтарную палочку, то палочка притягивает к себе легкие предметы, скажем клочки ткани. Под действием своей тяжести, то есть под действием гравитационного притяжения к земле, эти клочки ткани должны были бы падать, двигаться вниз. А они, преодолевая силы гравитации, упрямо поднимаются вверх (рис. 2.1).

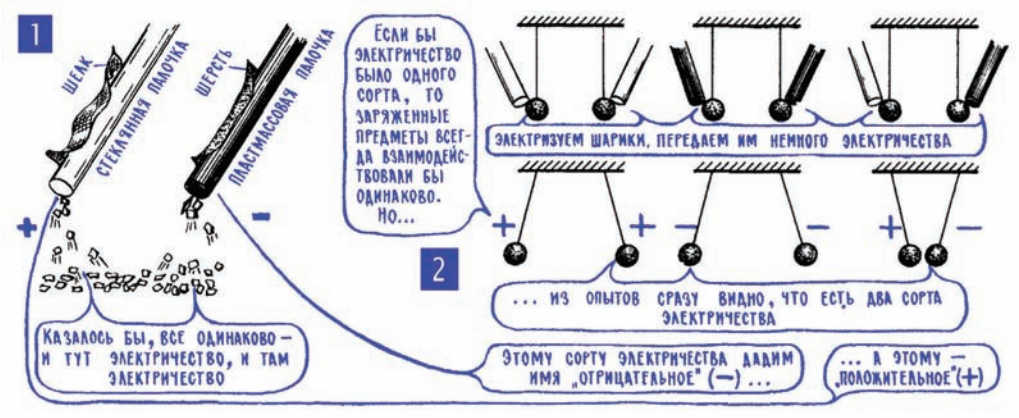


Рис. 2.1. Электризация тел

О чем это могло говорить? Только об одном – кроме гравитационных сил, кроме сил притяжения, которые стремятся сблизить, стянуть в одно место две массы, в мире существуют еще какие-то силы, которые в данном опыте с натертой янтарной палочкой оказались сильнее гравитационных. Какова природа неизвестных ранее сил? Почему только после натирания янтаря у него появляются новые свойства?

Ответить на эти вопросы первые исследователи не могли, они лишь зафиксировали обнаруженный факт и дали новому явлению свое название «электричество». На русский язык это слово можно было бы перевести так: «янтарничество». Потому, что «электричество» происходит от греческого слова «электрон», что означает «янтарь», и «электричеством» новое явление было названо именно потому, что оно было обнаружено в опытах с янтарной палочкой.

Опыты с натиранием янтаря позволяют сделать очень важный вывод. До этих опытов было известно только одно основное свойство материи –

масса, – которое заставляло предметы притягиваться друг к другу, двигаться, работать. Натертый янтарь показал, что наряду с массой у вещества может быть еще одно работающее основное свойство, в дальнейшем ему дали название «электрический заряд». Почему электрический – понятно. Почему заряд? Трудно сказать... Может быть, тот, кто впервые ввел это понятие – электрический заряд, – представлял себе, как, натирая янтарь, в него вталкивают некую невесомую электрическую массу, заряжают янтарь электричеством, подобно тому как заряжали когда-то пушку, вталкивая в нее стальное ядро.

Кстати, электричество, электрический заряд – не единственное принципиально новое свойство материи, открытое пытливым человеком. Несколько тысячелетий назад у некоторых металлических руд были обнаружены ни на что другое не похожие магнитные свойства, которые не хуже гравитации и электричества могут работать, двигать физические тела. И совсем недавно, уже в нашем веке, открыт еще один совершенно новый сорт основных свойств материи: ядерные силы. Это не гравитация, не электричество, не магнетизм. Действуют ядерные силы совершенно самостоятельно, причем только на очень небольших расстояниях. Именно они каким-то своим собственным способом стягивают расталкивающие друг друга составные части атомного ядра. А потом открыли еще одно фундаментальное свойство материи, еще один вид особых сил – их назвали слабыми, хотя действуют эти слабые силы во много раз сильнее, чем гравитация.

Вот так-то... Все было просто, была одна гравитация, а теперь – вон сколько открылось основных свойств материи. Мир намного сложнее, чем кажется человеку, который, подобно своему доисторическому предку, видит лишь то, что видно с первого взгляда...

Нужно, правда, отметить, что современная физика пытается, в каком-то смысле, упростить открывавшуюся ей сложную картину мира: в современной физике господствует представление о единой природе, о «великом объединении» всех известных сил – сильных, слабых, электромагнитных, гравитационных. Могучие силы теории и эксперимента направлены на то, чтобы выявить эту единую природу. Причем на этом пути есть уже огромное достижение – экспериментально подкреплена теория, объединившая электромагнитные и слабые силы в единое, как его называют, электрослабое взаимодействие.

Но вернемся, однако, от этой высокой физики к делам простым и практически важным.

Электричество и гравитация в чем-то очень похожи, и работают они по очень похожим правилам. Гравитационное притяжение тем сильнее, чем больше взаимодействующие массы; электрическое – чем больше заряды. А если раздвигать взаимодействующие тела, увеличить расстояние между ними, то обе силы – электричество и гравитация – резко ослабевают (рис. 2.2).

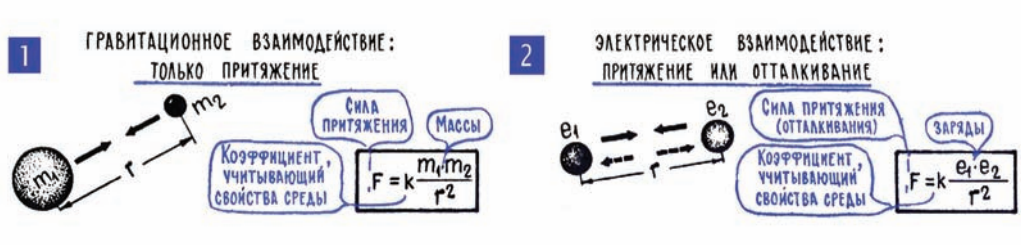


Рис. 2.2. Гравитационное и электрическое взаимодействия

Для того чтобы почувствовать реальность таких понятий, как «гравитация», «масса», «сила тяжести», не нужно раскрывать учебник физики. Достаточно положить его на ладонь. Мы непосредственно воспринимаем массу, ощущаем ее, чувствуем массу своего тела, массу покупки, которую несем из магазина, массу упавшего на ногу камня. Электрический заряд, конечно, на ощупь не почувствуешь, в реальность электричества можно поверить, лишь проделав специальные опыты. К тому же масса – понятие привычное, мы привыкали к ней миллионы лет. А с электричеством сталкиваемся ежедневно всего около ста лет. Но электричество сегодня уже играет в нашей жизни такую важную роль, что силой мысли, силой воображения нужно отвести ему достойное место в своей картине мира. В него нужно неотвратимо поверить, к нему нужно привыкнуть. Нужно привыкнуть...

4. Электричество бывает двух видов, двух сортов: положительное и отрицательное. В результате гравитационного взаимодействия физические тела только притягиваются, пока еще никто не наблюдал антигравитации, то есть расталкивания двух масс. Отсюда можно сделать вывод, что в природе существует масса только одного сорта и что одинаковые массы взаимодействуют только так – они взаимно притягиваются. Одинаковость, однотипность масс установлена с колоссальной, просто-таки фантастической точностью – до миллионных долей миллионной доли процента. Но факт существования только одного сорта массы настолько важен, что физики планируют еще более точную его проверку. В отличие от массы, электричество бывает двух разных сортов, и в этом может убедиться каждый, проделав простейшие опыты с натиранием стеклянной и пластмассовой палочек. Поначалу может показаться, что электричество всегда действует одинаково (рис. 2.1), но, передавая заряды с натертых палочек двум легким шарикам, можно убедиться, что в разных случаях они ведут себя по-разному (рис. 2.2; 2). Шарики, получившие электрический заряд разных сортов (разноименно заряженные), притягиваются, одинаковых сортов (одноименно заряженные) – отталкиваются. Если бы электричество было только одного сорта, то взаимодействие зарядов всегда было бы одинаковым:

наэлектризованные предметы либо только притягивались бы, либо только отталкивались.

Два разных сорта электричества нужно было как-то назвать, скажем «электричество сорта А» и «электричество сорта Б». Однако тому, кто давал имя этим сортам, понравились другие слова, и он назвал два разных сорта электричества положительным (сокращенное обозначение «+», «плюс») и отрицательным («–», «минус»). В данном случае привычный для нас смысл этих слов не имеет никакого значения, и ни в коем случае не нужно думать, что положительное электричество чем-то лучше отрицательного, как, скажем, положительный литературный герой или положительный пример.

Электрический заряд, который назвали положительным, появляется у натертого стекла, отрицательный – у натертой пластмассы. Попробуем провести такой мысленный эксперимент: будем ломать, распиливать, крошить наэлектризованные стекло и пластмассу, чтобы найти в них самые маленькие порции электрического заряда.

5. Молекула – мельчайшая частица данного вещества. Мысленный эксперимент, кроме всего прочего, хорош тем, что любая трудная работа здесь идет легко и быстро. Вот и у нас уже появились сначала маленькие кусочки наэлектризованного вещества, затем очень маленькие и, наконец, самые маленькие частички стекла и пластмассы – их молекулы. Можно, конечно, и эти молекулы, например молекулы стекла, разделить на составные части, но то, что при этом получится, уже не будет стеклом. Здесь, по-видимому, уместно такое сравнение. Представьте себе, что вам нужно разделить на районы город. Самый маленький район, который может получиться, – это один дом, молекула большого города. Можно, конечно, и дом разобрать по частям, но вряд ли какую-нибудь из строительных деталей можно будет назвать районом города.

Получив молекулы стекла и пластмассы, мы обнаружим, что некоторые из них наэлектризованы, то есть обладают электрическими свойствами, а другие не обладают. Остается предположить, что электрический заряд молекулы, ее электрические свойства связаны с какой-то еще более мелкой частицей, которая или входит, или не входит в молекулу. И если входит, то делает ее наэлектризованной. Чтобы проверить эту гипотезу, продолжим свой мысленный эксперимент и разделим наэлектризованную молекулу на составные части.

Подобно тому как современный дом состоит из отдельных типовых блоков – перекрытий, лестничных пролетов, стеновых панелей, – подобно этому молекула любого вещества состоит из типовых блоков вещества – атомов. Всего сегодня известно чуть больше сотни основных типов различных атомов, их называют химическими элементами. В молекулу могут входить самые разные атомы и в самой разной пропорции, они могут по-разному соединяться друг с другом, образовывать различные пространственные

конструкции. И из сравнительно небольшого количества элементов (хотя сотня – это тоже немного, но реально в строительстве молекул используется еще меньше) образуются миллиарды самых разных веществ. Так же, как из одинаковых строительных деталей строятся самые разнообразные здания. Разные сочетания разных атомов дают воздух и воду, мрамор и зеленый лист винограда, соль и сахар, стекло и пластмассу.

Продолжив свой мысленный эксперимент и разобрав на части молекулы подопытных веществ – стекла и пластмассы, – мы обнаружим, что и среди атомов попадаются, как говорится, наэлектризованные и ненаэлектризованные экземпляры, атомы с электрическим зарядом и без него, то есть электрически нейтральные. И после этого нам не останется ничего другого, как в поисках мельчайших частичек электрического заряда разобрать на части сам атом.

6. Планетарная модель атома – массивное ядро, вокруг которого вращаются электроны. Слово «атом» в переводе с греческого означает «неделимый». Это название появилось очень давно, когда о настоящих атомах, в современном понимании этого слова, никто и представления не имел. Просто считалось, что всякое вещество можно дробить на части до тех пор, пока не получатся мельчайшие невидимые пылинки, которые дальше уже разделить нельзя. Невозможно. Вот эти гипотетические, то есть предполагаемые неделимые, пылинки древние греки и называли атомами. Позднее название «атом» перешло к частицам уже не гипотетическим, а совершенно реальным, к тем самым основным блокам, из которых, как было установлено, строятся разные вещества. Еще какие-нибудь полтора века назад некоторые ученые считали эти блоки неделимыми и с чистой совестью называли их атомами. И только в начале XX века было установлено, что, строго говоря, атом нельзя называть атомом, что атом не есть неделимый блок, он представляет собой сложную машину и состоит из множества разнообразных деталей.

Склеенная из пластмассы модель самолета или даже летающая его модель лишь в небольшой степени похожа на воздушный лайнер, берущий на борт сотни пассажиров. Но вместе с тем, рассматривая эти модели, можно узнать много важного о настоящих самолетах, об устройстве их основных деталей, о том, для чего эти детали нужны.

Одна из правдоподобных моделей атома похожа на нашу Солнечную систему, и ее так и называют – «планетарная модель». В центре планетарной модели – основная деталь атома, его ядро, массивный шар, в котором сосредоточена почти вся атомная масса. Вокруг ядра вращаются маленькие и легкие шарики – электроны, чем-то напоминая планеты, вращающиеся вокруг Солнца (рис. 2.3). Такая картина очень наглядна, ее легко себе представить, но, конечно же, планетарная модель – это упрощение, искажение истины (см. гл. 1; 8). Она похожа на настоящий атом, наверное,

не больше, чем самолет-игрушка на настоящий «Ту» или «Ил». Скажем, электроны – это совсем не шарики-пылинки, а некоторые во многом еще загадочные сгустки материи, которые ведут себя не только как частицы, но и как волны. И двигаются электроны не по спокойным круговым орбитам, как Венера или Земля вокруг Солнца. Электроны как бы размазаны в пространстве, распределены по сферам вокруг ядра, образуют вокруг него так называемые электронные оболочки. И само ядро – тоже не бильярдный шар. Это огромный (по атомным масштабам, разумеется) бурлящий котел, в котором никогда не прекращаются самые удивительные преобразования и перестройки, непрерывно идут сложные превращения вещества и энергии, рождаются и умирают частицы.

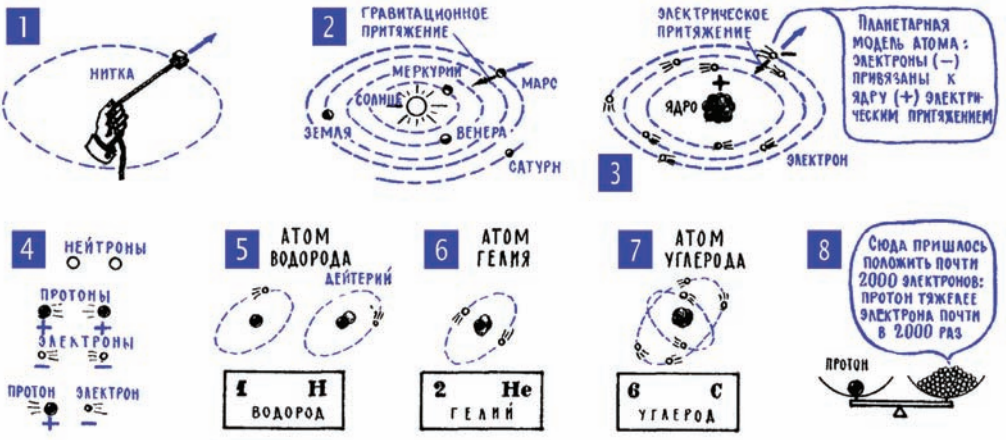


Рис. 2.3. Планетарная модель атома

И все же планетарная модель, несмотря на все ее недостатки, помогает просто и правильно объяснить многие важные процессы в атоме, многие особенности его конструкции. Именно поэтому свое путешествие в атомные глубины мы начнем с того, что построим упрощенную действующую – именно действующую – планетарную модель самого простого из известных атомов.

Привяжите нитку к спичечной коробке, раскрутите ее вокруг руки, и модель готова (рис. 2.3; 1). Ваша рука в ней играет роль атомного ядра, вращающаяся на нитке спичечная коробка – роль электрона. Но чью же роль в таком случае играет нитка? Ведь если нитка оборвется, то коробка под действием центробежной силы улетит в сторону, без нитки наш «атом» существовать не может. А в настоящем атоме нет никакой нитки, которая связывала бы ядро с электроном, и вместе с тем атом не разрушается, электрон с огромной скоростью (миллионы оборотов в секунду) вращается вокруг ядра и никуда не улетает. Что его держит? Какая сила

привязывает, притягивает вращающийся электрон к ядру, не позволяет ему оторваться, улететь? Это делает электричество.

7. В атомных частицах – электроне и протоне – хранятся мельчайшие порции электрических зарядов. Точными опытами установлено, что любой электрон обладает некоторым отрицательным электрическим зарядом, то есть зарядом того же самого сорта, который был обнаружен у пластмассовой палочки. Электрический заряд есть обязательное, непременное свойство электрона, такое же непременное, как масса. У всех электронов электрический заряд одинаков, так же, скажем, как одинакова масса у всех пятаков.

Теперь заглянем в ядро. Если не бояться упрощений, то можно считать, что ядро состоит из крепко склеенных частиц двух сортов – нейтронов и протонов. И те, и другие – довольно тяжелые частицы, масса каждой из них почти в две тысячи раз больше массы электрона (рис. 2.3; 8): если электрон – копейка, то протон или нейтрон – двухкилограммовая гиря или двухлитровая банка, наполненная водой. Различаются ядерные частицы – нейтрон и протон – прежде всего тем, что нейтрон в электрическом отношении нейтрален (отсюда и его название), то есть никакими электрическими свойствами он не обладает, а у протона есть положительный электрический заряд.

Подведем некоторые итоги. Электрон на орбите, протон в ядре. Обе частицы от природы обладают электрическими свойствами. У электрона отрицательный электрический заряд, «минус», у протона – положительный, «плюс»...

Теперь уже, наверное, понятно, почему именно электрические силы в настоящем атоме делают то, что в нашей модели делала нитка, – притягивают вращающийся электрон к ядру. У протонов и у электронов разноименные электрические заряды, и силы их электрического взаимодействия стараются стянуть, сблизить эти частицы.

Еще одна интересная особенность: у электрона и у протона заряды хотя и разного сорта, но равны по величине, по своей, если можно так сказать, действующей силе. Массы у этих частиц разные, вспомните: копейка и двухлитровая банка воды, – а электрические заряды, электрические свойства одинаковые. Это тоже может быть доказано точными опытами. Если расположить на некотором расстоянии один от другого два протона и на таком же расстоянии один от другого два электрона, то электрические силы будут расталкивать протоны (все правильно – одноименные заряды отталкиваются) с такой же силой, как и электроны (рис. 2.3; 4).

Сравнительно недавно, в середине семидесятых годов, начала активно развиваться и получать экспериментальное подтверждение физическая теория, согласно которой такие частицы, как протон и нейтрон (к электрону это не относится), состоят из еще более «мелких» деталей – кварков.

У кварков электрический заряд меньше, чем у протона, и может составлять 1/3 или 2/3 от той порции электричества, которую имеет протон. Причем заряд кварков может быть как положительным, так и отрицательным. Однако теория предсказывает, что сами кварки выделить из протонов или других частиц и получить в «чистом виде» невозможно, а может быть, даже принципиально невозможно. Придравшись к этому, мы будем считать, так же как считалось до появления кварковых теорий, что положительный заряд протона и отрицательный заряд электрона – это самые малые порции электричества, которые можно обнаружить в природе.

8. Атомы разных химических элементов различаются числом протонов в ядре и электронов на орбитах. Простейшая планетарная модель атома, построенная нами, – спичечная коробка, которая вращается вокруг руки, – это модель атома водорода. В его ядре – один протон (+), а на орбите – один электрон (–). Бывают атомы водорода, в которые входят еще и нейтроны (это так называемые изотопы – тяжелый водород, дейтерий, с одним нейтроном и сверхтяжелый водород, тритий, с двумя), но мы нейтроны во внимание принимать не будем. Потому, что это частицы нейтральные, электрического заряда у них нет и на электрические свойства атомов они не влияют.

Следующий по сложности – атом гелия. В его ядре уже два протона, а на орбите – два электрона (нейтроны мы опять-таки не принимаем во внимание, хотя они есть и у гелия, и у всех более сложных атомов). У лития – три протона и три электрона, у бериллия – четыре и четыре, бора – пять и пять, углерода – шесть и шесть, азота – семь и семь и т. д. Один химический элемент отличается от другого числом протонов в ядре. Всего в природе существует 92 разных сорта атомов (с числом протонов в ядре от 1 до 92), то есть 92 химических элемента, а с учетом полученных искусственно – около 115. У разных элементов разная способность вступать в химические реакции, соединяться в молекулы. На это и обратили внимание химики еще в те времена, когда о строении атомов ничего не знали. Проанализировав химические свойства элементов, Дмитрий Иванович Менделеев расположил их в определенном порядке в таблице, которая всему миру известна как таблица Менделеева. А потом, спустя много лет, оказалось, что порядок следования элементов в менделеевской таблице определяется числом протонов в атомном ядре – чем больше протонов, тем более далекое место в этой таблице занимает элемент.

Электроны вращаются вокруг ядра по разным орбитам. Некоторые из орбит находятся поближе к ядру, другие подальше от него, третьи – совсем далеко. Все электронные орбиты сгруппировываются в несколько слоев, в несколько, как принято говорить, электронных оболочек. В первом, самом близком к ядру слое только две орбиты, два вращающихся электрона (исключение – атом водорода, у которого всего один электрон), во вто-

ром слое может быть уже до восьми орбит, в третьем – до восемнадцати. На всех наших рисунках электронная оболочка показана в виде одного круга или эллипса, по которому вращаются все электроны. Это, конечно, грубое упрощение, одно из тех, которым было посвящено предупреждение в гл. 1; 8. Особое значение имеет наружный слой электронных орбит, потому что именно с помощью своих внешних электронов атомы соединяются друг с другом, образуя молекулы. С внешними электронными оболочками атома нам еще предстоят интересные встречи, а сейчас несколько слов о другой важной особенности атомных конструкций.

9. Положительный ион и отрицательный ион – атомы, у которых нарушено электрическое равновесие. Обнаружив в электронах и протонах мельчайшие порции электричества, мы можем теперь объяснить, как появляются электрические свойства у более крупных «предметов» – у атомов, у молекул. И у натертых палочек из пластмассы и стекла. В нормальном своем состоянии любой атом электрически нейтрален – число протонов в его ядре и число электронов на орбитах одинаково. А при этом и суммарный положительный заряд атома, и его суммарный отрицательный заряд как бы нейтрализуют друг друга, и за пределами атома никакие его электрические свойства вообще не ощущаются. Вещество, состоящее из таких нейтральных атомов, само тоже нейтрально, электрического заряда у него нет (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Атомы и ионы

Если же каким-то способом удалить с атомной орбиты хотя бы один электрон, то общий заряд электронов будет уже меньше, чем общий заряд протонов. И такой атом в целом будет обладать положительным зарядом. А значит, будет обладать положительным зарядом и молекула, куда входит этот наэлектризованный атом, и в итоге вещество, в которое входит наэлектризованная молекула. У натертой стеклянной палочки положительный заряд появляется именно потому, что при натирании мы, грубо говоря, выдираем электроны из многих атомов, расположенных в поверхностном слое стекла.

Можно при натирании каким-то способом втолкнуть в атом лишний электрон, у некоторых веществ ему найдется местечко на орбите. У такого атома электронов окажется больше, чем протонов в ядре, а значит, появится отрицательный заряд. В итоге отрицательный заряд будет у молекулы, включившей в себя этот атом, и у вещества, куда входит наэлектризованная молекула. Именно так можно объяснить появление отрицательного электрического заряда у натертой пластмассовой палочки.

В заключение остается назвать имена, которые присваивают атомам в зависимости от их электрического состояния.

Нормальный атом, такой, у которого число протонов и число электронов одинаково и который поэтому во внешнем мире никак не проявляет своих электрических свойств, называют нейтральным атомом. Атом с недостающими электронами (или, другими словами, с избытком протонов) называют положительным ионом – в целом такой атом ведет себя как частица, имеющая чистый положительный заряд. Атом с избытком электронов ведет себя как частица с чистым отрицательным зарядом, и такой атом называют отрицательным ионом.

10. Электрические силы могли бы работать в машинах. С давних пор люди стремятся умножить силу своих мускулов, выполнять работу бóльшую, чем могли бы по своим природным способностям. Стремятся они к этому не просто так, не ради спортивного интереса, а для того, чтобы улучшить свои жизненные условия, чтобы жить лучше, чем предначертано дикой природой. В разные времена человек приспособил себе в помощники домашних животных, энергию падающей воды, ветра, расширяющегося пара, взрывающихся бензиновых паров. И конечно же, не мог он оставить в бездействии такую прекрасную работающую силу, как электричество.

Уже простейшие опыты с натиранием стекла и пластмассы говорят о том, что электричество может работать, ну, скажем, перемещать какие-то грузы. Или приводить в движение машины, подобно тому, например, как гравитационные силы вращают жернова водяной мельницы. В принципе, работоспособность электричества огромна, значительно больше, чем работоспособность гравитации. Если стеклянную и пластмассовую палочки размером с карандаш расположить на расстоянии метра, то под действием гравитационных сил они будут притягиваться одна к другой, как и любые две массы. Но сила этого притяжения будет в миллиарды миллиардов раз меньше, чем сила самого чахлого комарика. А вот если наэлектризовать эти палочки-карандаши, уменьшить на один процент число электронов в стекле и увеличить на один процент число электронов в пластмассе – обратите внимание: всего на один процент! – то палочки будут притягиваться с такой силой, что смогут сдвинуть с места железнодорожный состав из миллиарда миллиардов груженых вагонов!

Вы хотите спросить, почему же в наших опытах электрических сил едва хватало на то, чтобы подтянуть вверх легкие бумажки? Только потому, что натиранием мы сумели нарушить электрическое равновесие лишь у очень небольшого числа атомов.

И все же в использовании электрической энергии техника не пошла по пути машин с большими сильно наэлектризованными деталями. В современных электрических машинах и установках всех типов работают детали, наэлектризованные самой природой, – мельчайшие частицы вещества, с которыми мы встретились на нашей экскурсии в мир атомов и молекул. А конкретно в современных электрических машинах всех типов работают электроны, положительные и отрицательные ионы. Главным образом – электроны.



ГЛАВА 3
Завод, где работают электроны

1. В некоторых веществах электроны и ионы могут находиться в свободном состоянии. Есть хорошая французская поговорка: «Для того чтобы сделать рагу из зайца, нужно, как минимум, иметь зайца». По аналогии можно сказать: для того чтобы заставить ионы и электроны работать в электрических машинах, нужно, как минимум, иметь ионы и электроны. Причем иметь их в свободном состоянии, чтобы можно было эти микроскопические детали перемещать, двигать и тем самым заставить их выполнять какую-то работу.

Повседневный опыт приучил нас, что твердые тела и жидкости имеют плотную, непрерывную структуру. А вместе с тем структура у них, если можно так сказать, ажурная. Любое вещество – вода, бумага, мрамор, сталь – больше напоминает редкую волейбольную сетку, чем плотный клубок ниток. Мы, конечно, не можем увидеть эту ажурность, сетчатость, но точными физическими исследованиями установлено, что сгустки вещества – атомные ядра и электроны – находятся друг от друга на расстояниях, во много раз превышающих размеры этих частиц. Так, скажем, если предположить, что атомное ядро имеет размеры футбольного мяча, то для соблюдения истинных пропорций нужно представить себе, как вокруг этого мяча на расстояниях в сотни и тысячи метров (!) вращаются электроны размером с горошину. А все остальное – пустота. Ну, а расстояния между соседними атомами в этом масштабе совсем уже огромны – это десятки и сотни километров!

Ажурные атомные конструкции, огромные пространства между атомами – вот первая особенность строения вещества, которую важно знать конструкторам электрических заводов, где будут работать электроны.

А вот вторая.

В любом веществе всегда найдется некоторое количество атомов, потерявших электроны со своих внешних орбит. В твердом теле атомы как бы закреплены в определенных точках пространства, связаны друг с другом в прочный каркас. В жидкостях атомы связаны слабее, могут смещаться,

именно поэтому жидкость «мягкая», она легко изгибается, течет. Во всех случаях атомы совершают какие-то небольшие движения, колеблются, пошатываются, причем тем сильнее, чем выше температура вещества. Только при абсолютном нуле, при температуре 0 градусов по шкале Кельвина (0 °K, или –273,16 °C; получить такую температуру пока никому не удалось, хотя подошли к ней очень близко – остались десятые доли градуса), собственные хаотические движения атомов затихают. В процессе этих хаотических, как их называют, тепловых колебаний атомы, грубо говоря, сбрасывают некоторые внешние электроны, те, что сильно удалены от ядра и слабее других привязаны к нему электрическими силами. Вырвавшиеся из атомов электроны беспорядочно слоняются (см. гл. 1; 8) в межатомном пространстве, они свободны, и эти свободные электроны вполне можно было бы использовать в качестве движущихся деталей электрических машин (рис. 3.1; 3).

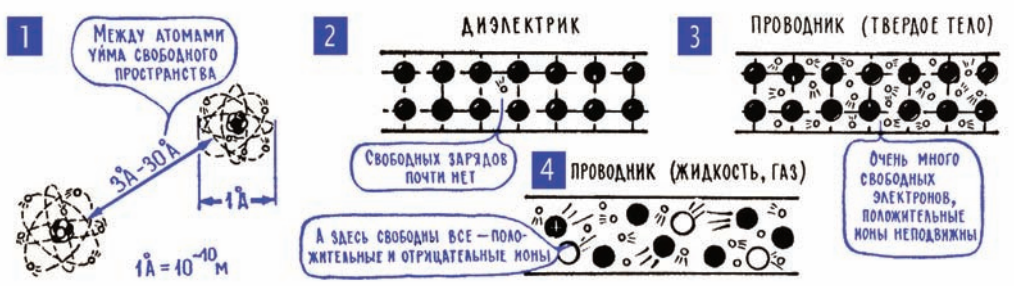


Рис. 3.1. Поведение зарядов в различных телах

Запомним, в твердом веществе могут быть свободные электроны. А теперь перейдем к жидкостям и газам.

Атом, потерявший один или несколько электронов, – это положительный ион. В твердых телах такие положительные ионы неподвижны, в жидкостях и особенно в газах они могут двигаться. Кроме того, в жидкостях и газах могут появиться подвижные отрицательные ионы – атомы, в которые попал лишний электрон. Таким образом, в жидкостях и газах может быть сразу три типа работающих деталей – свободные положительные ионы, свободные отрицательные ионы и, как всегда, еще свободные электроны (рис. 3.1; 4).

Итак, в веществе существуют свободные электрические заряды. И есть свободное пространство, где они могут двигаться. Теперь попробуем выяснить, какую пользу можно получить от такого движения зарядов, какую работу эти заряды могут выполнять.

2. Движущиеся свободные электроны (ионы) могут создавать тепло и свет, участвовать в транспортировке вещества. Если бить молотом по куску железа, то оба они сильно нагреются: энергия движущегося молота в

Оглавление

Рудольф Сворень – человек-легенда **3**

Как книга «Электроника шаг за шагом» обрела новую жизнь **12**

Предисловие от редактора **14**

ГЛАВА 1. Предисловие-путеводитель **18**

ГЛАВА 2. Встреча с электричеством **28**

ГЛАВА 3. Завод, где работают электроны **42**

ГЛАВА 4. Конституция электрической цепи **66**

Практикум. Изучаем закон Ома и свойства конденсатора 89

Эксперимент 1. Измерение тока с помощью вольтметра 89

Эксперимент 2. Исследование заряда и разряда конденсатора 91

ГЛАВА 5. Созданный движением **95**

ГЛАВА 6. Сложный характер переменного тока **115**

ГЛАВА 7. Сырье и продукция электроники **147**

ГЛАВА 8. В переводе на электрический **171**

ГЛАВА 9 Создание мощной копии **196**

Практикум. Исследование вольт-амперной характеристики диодов и светодиодов 219

ГЛАВА 10. От усиления к усилителю **224**

Практикум. Исследование усилительных свойств транзистора 258

Эксперимент 1. Ключевой режим работы транзистора 258

Эксперимент 2. Транзисторный усилитель синусоидального сигнала 260

ГЛАВА 11. Превращение в генератор **262**

Практикум. Простые генераторы на микросхемах 285

Эксперимент 1. Генераторы прямоугольных импульсов 286

Эксперимент 2. Лабораторный генератор синусоидальных колебаний на операционном усилителе 289

ГЛАВА 12. Воспроизводится музыка **292**

ГЛАВА 13. Передача и хранение информации **326**

Радиосвязь 326

Аналоговое телевидение 340

Запись звуковой и видеоинформации 359

ГЛАВА 14. По стопам кремонских волшебников **375**

Практикум. Модель терменвокса 389

ГЛАВА 15. Доверено автоматам **393**
Практикум. Автоматические регуляторы 412
Эксперимент 1. Регулятор температуры (термостат) 413
Эксперимент 2. Автомат включения освещения 416

ГЛАВА 16. Компьютер – вычисляющий автомат **419**
Практикум. Счетчики 453
Эксперимент 1. Счетчик с индикацией двоичного числа на светодиодах 454
Эксперимент 2. Счетчик с индикацией десятичного числа на светодиодах 456
Эксперимент 3. Счетчик с индикацией десятичного числа на семисегментном индикаторе 456

ГЛАВА 17. Питание на любой вкус **459**
Практикум. Лабораторный источник питания 476

ГЛАВА 18. Фантастическая электроника **481**

Список литературы **500**