

Б.С. Гершунский

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
Б11

Б11 **Б.С. Гершунский**
Основы электроники / Б.С. Гершунский – М.: Книга по Требованию, 2021. – 342 с.

ISBN 978-5-458-29669-4

Учебник составлен в соответствии с программой курса «Основы электроники» для техникумов, готовящих специалистов по производству и эксплуатации электронных вычислительных машин, приборов и устройств. Рассматриваются основные направления развития технических средств электроники, физическая сущность явлений, происходящих в электронных и полупроводниковых приборах, принципы построения основных электронных схем, их технические характеристики и параметры. Предназначен для учащихся электроприборостроительных техникумов, а также может быть полезным техникам-радистам и электромеханикам, занятым в сфере производства и эксплуатации различной электронной аппаратуры.

ISBN 978-5-458-29669-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

В В Е Д Е Н И Е

0.1. РОЛЬ ЭЛЕКТРОНИКИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Электроника как наука (ее принято называть *физической электроникой*) занимается изучением электрошных явлений и процессов, связанных с изменением концентрации и перемещением заряженных частиц в различных средах (в вакууме, газах, жидкостях, твердых телах) и в различных условиях (при различной температуре, под воздействием электрических и магнитных полей и т. п.). Задача электроники как отрасли техники (*технической электроники*) — разработка, производство и эксплуатация электронных приборов и устройств самого различного назначения.

Современные технические средства электроники широко используются практически во всех отраслях народного хозяйства нашей страны.

В настоящее время можно назвать несколько основных направлений, характеризующих сферы приложения технической электроники. Каждое из этих направлений, в свою очередь, имеет многочисленные разветвления (см. табл. 1).

Чем же обусловлено столь широкое применение электронной аппаратуры? Почему в каждой из многочисленных отраслей современной техники электроника дает толчок качественно новому этапу развития, производит подлинную техническую революцию?

Непревзойденная эффективность электронной аппаратуры обусловлена высоким быстродействием, точностью и чувствительностью входящих в нее элементов, важнейшими из которых являются электронные приборы. С помощью этих приборов можно сравнительно просто и во многих случаях с высоким к. п. д. преобразовывать электрическую энергию по форме, величине и частоте тока или напряжения. Такой процесс преобразования энергии осуществляется во многих схемах электронной аппаратуры (выпрямителях, усилителях, генераторах и т. д.). Кроме того, с помощью электронных приборов удается преобразовывать неэлектрическую энергию в электрическую и наоборот (например, в фотоэлементах, терморезисторах и т. п.). Разнообразные электронные датчики и измерительные приборы позволяют с высокой точностью измерять, регистрировать и регулировать изменения всевозможных неэлектрических величин — температуры, давления, упругих деформаций, прозрачности и т. д.

Процессы преобразования энергии в приборах электроники происходят с большой скоростью. Это обусловлено малой инерционностью,

Таблица 1

Области применения технических средств электроники

№ п/п	Направление	Области применения; электронные устройства
1	Связь	Проводная связь (фототелеграфия, аппаратура дальней связи, автоматическая телефонная связь) Радиосвязь (радиовещание, телевидение, радиорелейная связь, радиотелефония, видеотелефония, космическая радиосвязь и телевидение и др.)
2	Радиоэлектронная аппаратура широкого потребления	Звукозаписывающая и усилительная аппаратура Радиоприемники, радиолы, радиограммофоны Радиолюбительские конструкции. Телевизоры Устройства бытовой электронной автоматики Электронные часы
3	Промышленная электроника	Электронные игрушки и т. п. Управление производственными процессами Измерительная аппаратура Устройства электропитания Промышленное телевидение Автоматика Телеуправление Медицинская аппаратура (диагностическая, лечебная, протезы и др.)
4	Специальная техника	Электротехническое и энергетическое оборудование Аппаратура, применяемая на транспорте и т. д. Радиолокация (аэродромное обслуживание, системы ПВО, бортовая аппаратура, системы дальнего и сверхдальнего обнаружения, системы разведки и радиопротиводействия, пассивная радиолокация) Радионавигация Инфракрасная техника Оборудование космических аппаратов Оптические квантовые генераторы Ультразвуковая локация Ядерная электроника Биологическая электроника и т. д.
5	Вычислительная техника и техническая кибернетика	Электронные цифровые вычислительные машины Аналоговые вычислительные машины Автоматизированные системы управления Автоматические информационные системы Электронные обучающие и контролируемые машины и т. д.

характерной для большинства электронных приборов, позволяющей применять их в широком диапазоне частот — от нуля до десятков и сотен гигагерц. При этом достигается такая высокая чувствительность, которая не может быть получена в приборах другого типа. Так, электронными измерительными приборами можно измерять токи порядка 10^{-17} А и напряжения 10^{-10} В.

Электронные приборы легко обнаруживают мельчайшие, совершенно недоступные для механических измерительных инструментов, нечистоты в изготовлении изделий вплоть до размеров в 1 мкм.

Электронный микроскоп, увеличивающий предметы в миллионы раз, открыл перед человеком возможность глубоко проникнуть в мир

малых величин, в мир атома. Вместе с тем специальные электронные устройства радиоастрономии позволяют человеку проникнуть в тайны Вселенной.

Велико значение электроники и в биологии, где с помощью электронной аппаратуры изучаются процессы высшей нервной деятельности человека, процессы мышления, исследуются мельчайшие живые организмы, изучаются проблемы наследственности, генетического кода и др.

Электронные приборы находят широкое применение и в химии. Тончайший химический анализ вещества может быть проделан с помощью технических средств электроники в течение нескольких секунд.

Наиболее характерной чертой дальнейшего научно-технического прогресса в нашей стране является переход к полностью автоматизированному производству на базе использования электронной техники.

Применение автоматических систем программного управления станками, линиями и даже целыми заводами значительно повышает производительность труда и обеспечивает повышение качества продукции, экономии материалов и энергии. Исключительно важное значение имеет все более широкое внедрение в самые различные отрасли народного хозяйства нашей страны, в работу планирующих органов автоматизированных систем управления (АСУ) на основе использования электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Способность человека мыслить и действовать не может быть полностью заменена никакими машинами. Но многие процессы протекают столь быстро, зависят от столь большого числа разнообразных факторов, что человек, управляющий ими, остро нуждается в многочисленных средствах, которые помогли бы ему повысить чувствительность и быстроту реагирования на происходящие явления. Такую помощь человеку оказывают разнообразные устройства электронной автоматике и, в первую очередь, ЭВМ.

Если первоначально эти машины выполняли только вычислительные работы, то в настоящее время сфера их применения значительно расширилась. Современные ЭВМ представляют собой сложные автоматические устройства, способные обрабатывать всевозможную информацию.

Процессы переработки информации, значительно усложнившиеся в современных условиях в связи с развитием всех отраслей науки и техники, составляют важное содержание умственной деятельности людей. Поэтому ЭВМ, приборы и устройства, облегчающие эту работу и неизмеримо повышающие ее производительность, имеют первостепенное значение для общего научно-технического прогресса, развития экономики и культуры социалистического общества.

0.2. ЭЛЕКТРОНИКА: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

Становление и развитие электроники стало возможным благодаря настойчивым усилиям многих сотен ученых-физиков, пытавшихся на протяжении длительного времени познать и научно объяснить природу электрических явлений.

Еще в 640—550 гг. до н.э. в древней Греции Фалес Милетский впервые описал явление, связанное с тем, что легкие тела притягиваются некоторыми шершавыми предметами. От греческого слова *ελεκτρον* (янтарь) возникло название «электричество». От первых опытов по изучению электрических явлений до открытия электрона прошло более двух тысяч лет. Лишь в 1891 г. ирландский физик Стоней, опираясь на исследования Фарадея, Максвелла и многих других ученых, ввел в науку понятие «электрон», понимая под этим элементарное количество электричества. Понадобились труды крупнейших теоретиков и экспериментаторов XIX и XX вв.—Г. Гельмгольца, В. Крукса, Д. И. Менделеева, Э. Холла, В. Рентгена, Г. Герца, А. Г. Столетова, Дж. Дж. Томсона, Г. Лоренца, А. Беккереля, Р. Милликена, Э. Резерфорда, А. Ф. Иоффе, Г. Вильсона, М. Планка, А. Эйнштейна, Н. Бора, Луи де Бройля, В. Гейзенберга, В. Паули, П. Дирака, Э. Ферми, Л. Д. Ландау и многих других ученых, чтобы углубить и развить первые представления о свойствах одной из наиболее удивительных элементарных частиц материи — электрона.

Первые шаги технической электроники следует отнести к концу XIX в., когда русский электротехник А. Н. Лодыгин создал первую электрическую лампу накаливания (1872 г.). Производство электрических осветительных ламп явилось впоследствии той материальной базой, на которой началось промышленное развитие электронной техники. Открытие американским ученым Т. А. Эдисоном явления термоэлектронной эмиссии в 1884 г. и исследование фотоэлектронной эмиссии в 1888 г. профессором Московского университета А. Г. Столетовым послужили началом изучения электронных явлений, которые вскоре были использованы и в технике.

Событием, оказавшим огромное влияние на развитие электроники, было изобретение первого в мире радиоприемника русским ученым А. С. Поповым в 1895 г. Потребности радиотехники в значительной степени стимулировали создание и совершенствование различных электронных приборов, прежде всего, приемно-усилительных электронных ламп.

Первая электронная лампа (диод) изготовлена английским ученым Д. А. Флемингом (1904 г.). Через три года после этого американский ученый Ли де Форест ввел в лампу Флеминга управляющий электрод — сетку и создал триод, обладающий способностью генерировать и усиливать электрические сигналы.

В России первую электронную лампу изготовил Н. Д. Папалекси (1914 г.).

Несмотря на техническую отсталость царской России, многие русские ученые вели большую работу по созданию электронной аппаратуры. Однако только после Великой Октябрьской социалистической революции началось широкое развитие отечественной электроники.

В 1918 г. В. И. Ленин подписал декрет Совнаркома «О централизации радиотехнического дела». В этом же году по инициативе В. И. Ленина была создана Нижегородская радиолaborатория — научная и производственная база отечественной радиоэлектроники. Сотрудники Нижегородской радиолaborатории, советские ученые и

инженеры М. А. Бонч-Бруевич, В. П. Вологдин, П. А. Остряков, А. А. Пистолькорс, А. Ф. Шорни и другие, в короткий срок добились значительных успехов в разработке новых совершенных образцов электронной аппаратуры.

В. И. Ленин внимательно следил за успехами Нижегородской радиолaborатории и высоко оценивал их. Об этом свидетельствует его письмо к М. А. Бонч-Бруевичу от 5 февраля 1920 г., в котором В. И. Ленин писал: «Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаете, будет великим делом. Всяческое и всемерное содействие обещаю Вам оказывать этой и подобным работам»¹. Несмотря на огромные трудности, переживаемые в тот период нашей страной, В. И. Ленин нашел время, чтобы лично во всех подробностях ознакомиться с состоянием радиоэлектронной техники и наметить организационные формы ее развития.

В последующие годы развитие электроники шло очень быстрыми темпами, причем наряду с совершенствованием электронных ламп разрабатывались и другие электронные приборы — электронно-лучевые, ионные, фотоэлектронные, полупроводниковые.

Возможность генерировать и усиливать электрические колебания при помощи полупроводниковых приборов была открыта еще в 1922 г. сотрудником Нижегородской радиолaborатории О. В. Лосевым. Однако в то время полупроводниковые приборы были еще очень несовершенными, чтобы конкурировать с электронными лампами, и широко распространения не получили.

В 30-х годах группой советских ученых под руководством А. Ф. Иоффе было начато широкое и систематическое исследование свойств полупроводников. В результате этих исследований была создана стройная теория полупроводников и выяснены возможности их технического применения.

Крупным событием в развитии полупроводниковой техники было открытие в конце 1947 г. американскими учеными У. Браттейном, Дж. Бардиным и У. Шокли транзисторного эффекта. Первые промышленные образцы транзисторов появились в 1949—1950 гг. После этого началось интенсивное исследование новых физических явлений в полупроводниках, производство и применение многочисленных разновидностей полупроводниковых приборов.

Особенно целесообразным оказалось использование полупроводниковых приборов в многоэлементных установках, например, в ЭВМ, где их применение позволило в несколько раз уменьшить габариты, повысить надежность работы, снизить расход электроэнергии.

Современный этап развития электронной техники характеризуется значительным усложнением электронной аппаратуры. Обычные (дискретные) компоненты электронных схем уже не могут в полной мере удовлетворить требованиям резкого уменьшения габаритов и повышения надежности электронных устройств. Все более широкое развитие получает микроэлектроника — *отрасль электроники, занимающаяся микроминиатюризацией электронной аппаратуры с целью*

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 51, с. 130.

уменьшения ее объема, массы, стоимости, повышения надежности и экономичности на основе комплекса конструктивных, технологических и схемных методов. При этом необходимо подчеркнуть, что именно успехи в создании и практическом использовании обычных полупроводниковых приборов, совершенствовании технологии их изготовления решающим образом способствуют микроминиатюризации электронной аппаратуры на основе широкого применения пленочных и особенно полупроводниковых интегральных схем.

Таким образом, в развитии технической электроники можно выделить три основных этапа: 1) ламповой электроники, 2) полупроводниковой электроники, 3) микроэлектроники.

Каждый последующий этап развития, внося коренные изменения в элементную базу электронной аппаратуры, в то же время не означает полного отрицания предшествующих этапов, так как технические средства ламповой и дискретной полупроводниковой электроники все еще широко используются. В области вычислительной техники указанные выше три этапа развития элементной базы были последовательно реализованы в трех так называемых «поколениях» ЭВМ.

В Советском Союзе первая электронная вычислительная машина была сконструирована в Киеве под руководством академика С. А. Лебедева. Эта машина (МЭСМ — малая электронная счетная машина) была построена на электронных лампах и выполняла около 10^4 операций в секунду.

С 1953 по 1960 гг. в нашей стране серийно выпускались ЭВМ первого поколения типа БЭСМ-1, «Стрела», М-20, «Урал-1», «Урал-2», «Урал-4», «Минск-1» и др. Сравнительно небольшой срок службы ламп (до 10^4 ч) налагал жесткое ограничение на предельное число элементов, используемых в одной ЭВМ. Поэтому операционные возможности этих машин, емкость их памяти и быстрдействие были незначительными. Кроме того, низкая надежность, значительные габариты и большое потребление мощности ограничивали возможности практического применения ЭВМ первого поколения.

С начала 60-х годов на смену первым машинам приходит второе поколение ЭВМ, выполненных на дискретных полупроводниковых приборах. Высокая надежность этих приборов позволила резко повысить качество основных узлов машины, увеличить их быстрдействие. К этому поколению относятся полупроводниковые ЭВМ «Минск», БЭСМ-4, М-220, БЭСМ-6, «Наири», «Мир» и др.

Основной комплекс работ по созданию современных средств вычислительной техники проводится по проекту создания Единой системы электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ), который в 1969 г. стал объединенным проектом социалистических стран — членов СЭВ.

В конце 1971 г. в нашей стране были проведены успешные испытания ЭВМ третьего поколения на основе интегральных микросхем.

В настоящее время разработано несколько типов ЭВМ этой серии (ЕС-1010, ЕС-1020, ЕС-1030, ЕС-1040, ЕС-1050, ЕС-1060 и др.).

Приступая к изучению электроники, важно знать не только ее прошлое и настоящее, но и будущее. В связи с этим представляют интерес данные научно-технического прогнозирования развития

Таблица 2

Данные научно-технического прогнозирования развития элементной базы ЭВМ

Наименование элементов	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.
Электроввакуумные приборы	+	+	—	—
Ионные приборы	+	—	—	—
Полупроводниковые приборы:				
транзисторы биполярные	+	+	—	—
МДП (полевые) транзисторы	+	+	—	—
туннельные диоды	+	+	—	—
Криогенные элементы	+	+	+	+
Элементы на магнитных пленках	+	+	+	+
Оптоэлектронные элементы	+	+	+	+
Элементы на лазерах	+	+	+	+
Интегральные схемы	+	—	—	—
Большие интегральные схемы	+	+	+	+
Химотронные элементы	+	+	+	+
Элементы на эффекте Ганна	+	+	+	—
Элементы на эффекте Холла	+	+	—	—
Биологические элементы	—	—	+	+

Знак «+» означает применяемость элементов.

элементной базы ЭВМ, которые приведены в табл. 2 [1, 31, 44].

Несмотря на то что данные этой таблицы не являются исчерпывающими и не претендуют (как и результаты любого прогнозирования) на абсолютную достоверность, они тем не менее помогают выяснить некоторые новые перспективные направления развития технических средств электроники.

0.3. КАК ИЗУЧАТЬ ЭЛЕКТРОНИКУ?

Вопрос непростой. Попробуем разобраться, каким путем за сравнительно небольшой период времени можно с достаточной глубиной освоить основы этой сложной учебной дисциплины?

Электроника как отрасль техники развивается исключительно быстрыми темпами. Непрерывное совершенствование технических средств электроники приводит к тому, что информация о конкретных видах электронных приборов и схем оказывается малоустойчивой. Поэтому попытка рассмотреть все виды приборов и схем, применяющихся в современной электронной аппаратуре или имеющих перспективы применения в будущем, будет заведомо безуспешной. Для этого имеются соответствующие стандарты, служебные и производственные инструкции, справочники. Гораздо важнее понять и осмыслить идеи, заложенные в основу работы электронных приборов и устройств, динамику и логику их развития, принципиальные возможности практического применения.

Поскольку запоминать информацию о конкретных приборах и схемах в принципе нецелесообразно, то не лучше ли обратиться основное

внимание на сугубо теоретические вопросы с тем, чтобы по мере надобности применить полученные теоретические знания при разработке новых электронных приборов и схем, которые могут заинтересовать нас в будущей практической (учебной или производственной) деятельности?

Действительно, теоретические положения, основные понятия, законы и закономерности электроники куда более стабильны, чем факты. Изучив эти теоретические закономерности, казалось бы, можно уверенно смотреть в будущее, так как замена того или иного прибора новым не может существенно поколебать «теоретические устои» нашего знания.

Избрав этот путь, мы, однако, можем незаметно для себя занять абстрактным теоретизированием, позабыв, что без надежного фактического фундамента любые абстрактно изученные теоретические «конструкции» рискуют в любой момент рухнуть.

По-видимому, наиболее целесообразно в основу изучения технических средств электроники положить *принцип типичности*. Сущность этого принципа состоит в том, что вместо изучения всех разновидностей электронных приборов и схем определенного класса рассматриваются лишь их типичные представители, в которых наиболее полно раскрываются характерные и наиболее устойчивые признаки всего класса. Одновременно уделяется внимание и тем теоретическим положениям, которые лежат в основе работы тех или иных электронных элементов и схем. Такой подход позволяет рассчитывать на сознательное и творческое усвоение закономерностей технической электроники с возможностью их применения в изменившихся условиях.

Материал учебника расположен в такой последовательности, чтобы очередная порция учебной информации была логическим следствием предыдущей. Это требует от учащегося *систематического изучения материала*.

К учебному материалу надо относиться *дифференцированно*. В курсе «Основы электроники» имеется материал, о котором по тем или иным причинам достаточно иметь лишь *общее представление*. К такому материалу можно отнести, например, различные исторические данные, сведения о работах ученых и их научной биографии, факты, привлекаемые из смежных отраслей знаний, и т. п. Этот материал, по существу, не требует запоминания или глубокого понимания. Он входит в учебный предмет прежде всего для повышения общей технической культуры учащегося, его эрудиции.

Не подлежит сомнению также, что в любом разделе и почти в каждой теме курса имеются сведения, которые необходимо *запомнить*. К таким сведениям относятся, например, некоторые постоянные величины (скорость света, звука и т. п.), соотношения между размерностями, выражаемыми в разных единицах измерения, условные графические обозначения тех или иных приборов, наиболее употребительные формулы и др.

Значительное место в учебном предмете «Основы электроники» занимает материал, требующий от обучаемого прежде всего *понимания* (физический смысл явлений и процессов, происходящих в электрон-

ных приборах, принципы построения и назначение элементов электронных схем, достоинства и недостатки схемных решений и т. п.).

И наконец, будущий техник должен овладеть *умениями и навыками*, характерными для специалиста по электронной технике — сборка и испытание схем, работа с измерительной аппаратурой, выполнение технических расчетов, грамотное использование справочной литературы и т. п.

Следует помнить, что главная задача обучения — научиться самостоятельно и творчески работать. Этому должны способствовать содержащиеся в учебнике вопросы и задания, которые требуют не ограничиваться пассивным восприятием информации, а самым активным образом участвовать в решении предлагаемых учебных проблем.

Прочитав текст, постарайтесь выделить главное из прочитанного и составить перечень слов или сочетаний нескольких слов, которые несут наибольшую смысловую нагрузку и в наибольшей степени отражают сущность изложенных сведений. Такие слова называют *ключевыми*. Ключевые слова помогают сосредоточиться и осознать самое основное из прочитанного.

В качестве примера предлагаем следующий вариант ключевых слов к первому параграфу введения: *электронные приборы, быстродействие, точность, чувствительность, управление, вычислительные машины, микроэлектроника, надежность.*

Составьте перечень ключевых слов ко второму параграфу введения.

РАЗДЕЛ I

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Глава 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ И ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Работа электронных приборов основана на управлении концентрацией и движением потоков заряженных частиц в вакууме, газах и полупроводниках. Изучение свойств этих частиц и их поведения в различных условиях является необходимой предпосылкой для понимания работы электровакуумных, ионных и полупроводниковых приборов.

В связи с этим возникает ряд вопросов:

1. Почему именно электрон наилучшим образом удовлетворяет требованиям, предъявляемым к частицам, выступающим в качестве носителей тока в электронных приборах?

2. Как получить поток свободных электронов, затрачивая при этом минимальное количество энергии?

3. Каким образом можно управлять движением электронов?

Для ответа на эти вопросы необходимо повторить ряд положений, изученных ранее в курсе физики. Укажем лишь на те из них, которые представляются наиболее существенными с точки зрения технической электроники.

1.1. ЭЛЕКТРОНЫ В АТОМЕ.

ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

В соответствии с электронной теорией все окружающие нас вещества состоят из мельчайших частиц — *атомов*. Атом, в свою очередь, состоит из более мелких частиц, основными из которых являются *протоны, нейтроны и электроны*. Протоны имеют положительный электрический заряд, электроны — отрицательный, равный по величине заряду протона, а нейтроны электрически нейтральны, их заряд равен нулю.

Протоны и нейтроны образуют ядро, в котором сосредоточена практически вся масса атома. Вокруг ядра под влиянием его притяжения движутся по определенным замкнутым траекториям (орбитам) отрицательно заряженные электроны. В нормальном состоянии атом содержит одинаковое количество протонов и электронов и поэтому электрически нейтрален.

Количество протонов, нейтронов и электронов в атоме зависит от типа химического элемента, составной частью которого он является. Так, например, в атоме водорода вокруг ядра вращается только один электрон (рис. 1.1), в атоме меди — 29, в атоме золота — 79 и т. д.