



§ 15.

Электрический заряд. Элементарный заряд

Рассматривая взаимодействие электрических зарядов, их перемещение в телах, мы не затрагивали очень важные вопросы. Например, что такое электрический заряд? Что происходит при электризации тел? Может ли электрический заряд иметь любое, даже сколь угодно малое, значение?

Впервые мысль о том, что существует предельная, неделимая более «порция» электрического заряда, была выдвинута выдающимся английским ученым М. Фарадеем (см. форзац 2). Ему принадлежит и сам термин *электрический заряд*. Другой английский ученый Дж. Дж. Томсон открыл, что в атомах всех веществ содержится частица, обладающая отрицательным зарядом. Эту частицу назвали *электрон*. У ряда веществ (особенно у металлов) электроны могут достаточно легко покидать атом. Сложными опытами было доказано, что заряд любого электрона имеет всегда одно и то же значение и является наименьшим, неделимым более. Эта самая малая «порция электричества» была названа *элементарным зарядом*.

В составе атома была найдена и частица, обладающая элементарным положительным зарядом. Это — *протон*. Открытие электрона и протона позволило просто объяснить электризацию тел. В ненаэлектризованном (электронейтральном) теле суммарный отрицательный заряд всех электронов равен по модулю суммарному положительному заряду всех протонов. При контакте тел, например стекла и бумаги (рис. 108), значительное число электронов покидает стекло, переходя к бумаге. Бумага приобретает отрицательный заряд. Стекло при этом заряжается положительным зарядом. Это обусловлено тем, что суммарный заряд всех протонов стекла становится больше суммарного заряда оставшихся электронов.

Важно понять, что электрический заряд частиц (электрона, протона) не есть нечто, добавленное к ним. **Электрический заряд — это величина, характеризующая неотъемлемое свойство электрона и протона к электрическому взаимодействию с любыми заряженными частицами.** При электризации трением от тела к телу переходят *частицы* — в большинстве случаев это электроны.

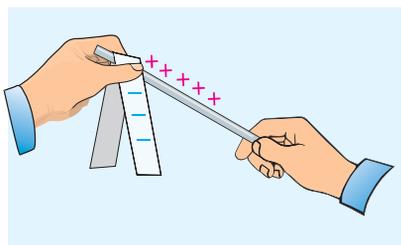


Рис. 108

Как и всякую физическую величину, электрический заряд, который называют еще количеством

электричества, необходимо измерять. Значит, нужно ввести основную единицу заряда. Такая единица в СИ носит название **кулон** (сокращенно **Кл**) в честь французского ученого Ш. О. Кулона. Строгое определение этой единицы мы приведем несколько позже. Один кулон — очень большой заряд. Во всех описанных опытах заряд тела составлял в лучшем случае миллионные доли кулона. Элементарный заряд примерно равен

$$e \approx 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 16\ \text{Кл},$$

что удобно записывать в стандартном виде $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Для выражения значений электрических зарядов используют дольные единицы кулона:

$$\begin{aligned} 1\ \text{мКл (милликулон)} &= 1 \cdot 10^{-3}\ \text{Кл}; \\ 1\ \text{мкКл (микрокулон)} &= 1 \cdot 10^{-6}\ \text{Кл}; \\ 1\ \text{нКл (нанокулон)} &= 1 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}; \\ 1\ \text{пКл (пикокулон)} &= 1 \cdot 10^{-12}\ \text{Кл}. \end{aligned}$$

Обратите внимание, что любой, даже самый малый, заряд тела дискретен, т. е. содержит целое число N элементарных зарядов. Заряд тела обозначается буквой q . Тогда

$$q = eN,$$

где N — целое число ($N = 1, 2, 3, \dots$).

▼ Для любознательных

Опыты, позволившие найти «наименьшую порцию электричества», т. е. элементарный заряд, были проведены в 1910—1913 гг. Р. Э. Милликеном в США и А. Ф. Иоффе в России. В этих опытах заряженная очень малая капля масла (в опытах Р. Э. Милликена) или пылинка цинка (в опытах А. Ф. Иоффе) «зависала» между заряженными пластинами (рис. 109). Электрическая сила $F_{\text{эл}}$, компенсирующая силу тяжести $F_{\text{т}}$, зависела от заряда капли (пылинки), что позволило ученым судить о значении этого заряда. В обоих опытах были получены одинаковые результаты. Заряд капли масла (пылинки) не мог принимать любое значение. Это значение всегда было кратно одному и тому же числу — $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

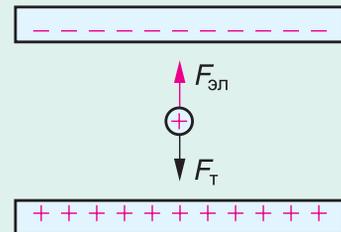


Рис. 109

■ Главные выводы

1. Электрический заряд частиц, входящих в атом (электронов, протонов), неотделим от самих частиц.
2. Электрический заряд любого заряженного тела дискретен, т. е. кратен наименьшему элементарному заряду ($q = eN$).
3. Электризация тел объясняется перемещением электронов от тела к телу (электризация трением) либо от одной части тела к другой (электризация через влияние).
4. Основной единицей заряда в СИ является 1 Кл.



Контрольные вопросы

1. Как понимать выражение: «Электрический заряд любого тела дискретен»?
2. Что означает понятие «элементарный заряд»?
3. Какая частица атома обладает элементарным положительным зарядом? Отрицательным зарядом?
4. Как объяснить появление отрицательного заряда на эбонитовой палочке при ее трении о шерсть?

Упражнение 12

1. Почему при указании значения элементарного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл не указывают его знак («+» или «-»)?

2. Выразите в кулонах заряд металлической гильзы:

а) $q = 0,12$ мКл; б) $q = 84$ пКл; в) $q = -56$ нКл; г) $q = -968$ мкКл.

3. При расчесывании волос пластмассовая предварительно незаряженная расческа получила заряд $q = 6,4 \cdot 10^{-11}$ Кл. Каких частиц (протонов или электронов) после расчесывания в расческе оказалось больше? Какой заряд получили при электризации волосы? Сколько элементарных зарядов содержит заряд расчески?

4. В результате трения о шерстяную ткань эбонитовая палочка приобрела отрицательный заряд $q = -736$ нКл. Избыток или недостаток электронов образовался у палочки? Какой заряд приобрела шерстяная ткань? До трения и палочка, и ткань были электронейтральными. Сколько элементарных зарядов содержит заряд эбонитовой палочки?

5. При электризации масса металлического шарика уменьшилась на $\Delta m = 2,73 \cdot 10^{-27}$ кг. Какой заряд приобрел шарик? Масса одного электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.



§ 16.

Строение атома. Ионы

В начале XX в. было достоверно известно, что в состав атомов всех веществ входят отрицательно заряженные частицы — электроны. Было известно, что электроны не связаны жестко в атоме и могут даже покидать атом. Так как атом нейтрален, то в нем, безусловно, должен быть и положительный заряд. Но где находится положительный заряд в атоме?

Фундаментальный, сыгравший принципиальную роль в науке опыт по изучению строения атома был проведен в 1911 г. английским ученым Э. Резерфордом (см. форзац 2).

Суть опыта можно понять из такого сравнения. Пусть нужно проверить, не дотрагиваясь до предмета, однороден он или нет. Например, не спрятан ли в стоге сена металлический предмет. Это можно сделать, находясь вдали от стога, используя мелкокалиберную винтовку и большой фанерный щит (рис. 110). Будем стрелять в стог по различным направлениям и по пробоинам в щите судить о траекториях всех пуль. При однородности стога не будет ни одного рикошета (отражения). Они появятся при наличии в стоге металлического предмета. Причем число рикошетов будет зависеть от размеров тела (например, килограммовой гири или гимнастической 32-килограммовой).

В опытах Резерфорда (рис. 111) тончайшая пленка П из золота обстреливалась положительно заряженными частицами. Затем оценивались траектории движения частиц после прохождения пленки. Опыты Резерфорда (более подробно о них пойдет речь в 11-м классе) убедительно показали, что атом неоднороден. Иначе как объяснить, что некоторые положительно заряженные частицы изменяли направление движения, хотя число таких частиц было чрезвычайно малым? Опыт позволил утверждать, что более 99,96 % массы атома и весь



Рис. 110

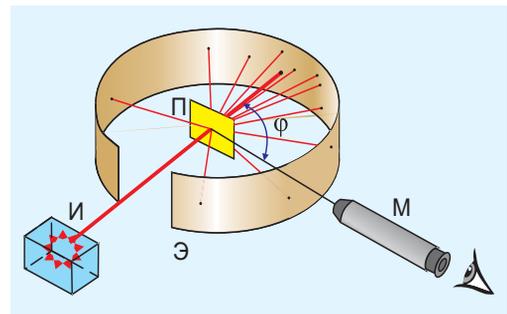


Рис. 111

положительный заряд сосредоточены в чрезвычайно малой области в центре атома. Ее назвали *ядром атома*. Резерфорд оценил размер ядра атома. Его диаметр примерно в 10^4 — 10^5 раз меньше диаметра самого атома. Соотношение этих размеров примерно такое же, как соотношение размеров рисового зернышка и футбольного поля.

Позже (в 1919 г.) экспериментально были обнаружены носители положительного заряда ядра — *протоны* (от греч. *protos* — первичный, основной). Протоны являются основой (базой) ядер всех атомов. Кроме протонов, в ядре находятся незаряженные частицы — *нейтроны* (рис. 112).

Вокруг ядра, удерживаемые электрическим притяжением к нему, на очень большом расстоянии по сравнению с размерами ядра непрерывно движутся отрицательно заряженные *электроны*. Однако приписать какую-то конкретную орбиту электрону в атоме невозможно. Он как бы размыт в определенном объеме пространства, поэтому мы можем говорить лишь об *электронных оболочках* атома (рис. 112).

В непроводящих средах (диэлектриках) электроны достаточно сильно «связаны» с ядром и редко покидают атом. В проводниках (металлах) один или несколько электронов покидают атом и свободно перемещаются внутри проводника. **Число протонов в ядре атома равно числу электронов на оболочках (рис. 112), что и обеспечивает электронейтральность атома.**

При уходе из атома одного или нескольких электронов атом становится *положительно заряженной частицей* — *ионом*. Возможен и обратный процесс, при котором атомы некоторых веществ присоединяют «лишние» электроны и превращаются в *отрицательные ионы*. Например, обычная поваренная соль состоит не из нейтральных атомов натрия и хлора, а из положительных ионов натрия и отрицательных ионов хлора, образующих определенную структуру (рис. 113). При растворении в воде поваренной соли эти ионы отделяются

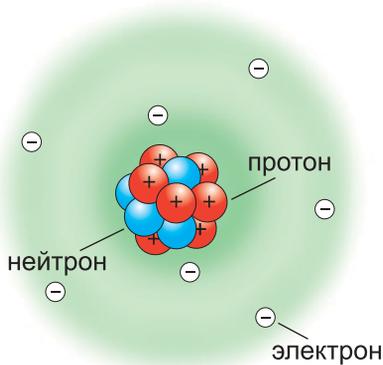


Рис. 112

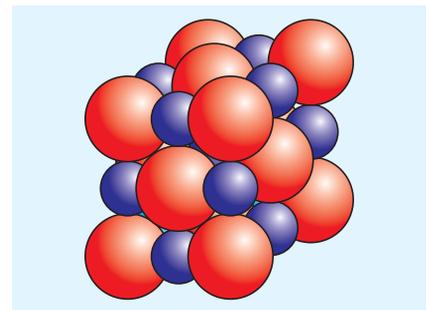


Рис. 113

друг от друга, что делает жидкость хорошим проводником. Небольшое число ионов обоих знаков всегда есть и в газах — вспомните опыт с медленной потерей заряда электроскопом!

▼ Для любознательных

Ученый Б. Франклин предполагал, что электричество представляет собой жидкую субстанцию, находящуюся во всех веществах. Он предложил использовать знак «+» для обозначения избытка электрической жидкости в телах. Такие тела он назвал положительно заряженными. Знак «-» использовался Франклином для обозначения недостатка электрической жидкости по сравнению с ее нормальным количеством в веществе. Вещества, которые имели недостаток этой жидкости, он назвал отрицательно заряженными. Вещества же, в которых не было ни недостатка, ни избытка электрической жидкости, были названы им нейтральными.

Затем Франклин высказал утверждение, что если привести в соприкосновение тело с избытком и тело с недостатком электрической жидкости, то жидкость будет перетекать от тела с избытком к телу с ее недостатком. Иными словами, он предположил, что электрическая жидкость должна течь от положительно заряженного к отрицательно заряженному веществу, т. е. от «+» к «-». Видите ли вы, в чем слабость теории Франклина?

■ Главные выводы

1. Положительный заряд атома сосредоточен в очень малой части атома — ядре — и определяется числом протонов в нем.
2. Отрицательным зарядом в атоме обладают электроны. Их число равно числу протонов в ядре.
3. Электроны могут покидать атомы, создавая проводимость вещества.
4. При потере нейтральным атомом (или при приобретении им) электронов образуется положительный (или отрицательный) ион.

? Контрольные вопросы

1. В чем суть опытов Резерфорда?
2. Какая модель строения атома предложена, исходя из опытов Резерфорда?
3. Каково примерное соотношение между размерами атома и его ядра?
4. Как объяснить, исходя из строения атома, деление веществ на проводники и диэлектрики?
5. Что называют положительным ионом? Отрицательным ионом?