

§ 3. Атомное строение электричества

Электричество имеет дискретное строение. Существуют электрические заряды только вполне определенной величины— «атомы электричества». Они строго одинаковы по величине. Нет более крупных или более мелких «атомов электричества». На основании последних измерений элементарный электрический заряд (отрицательный заряд *электрона*) считают равным

$$e = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ эл.-ст. ед. количества электричества.}$$

В настоящее время общеизвестно, что электроны входят в состав всех атомов химических элементов и могут существовать в свободном состоянии, образуя своим движением электрический ток в металлах и в вакууме.

В 1932 г. были открыты частицы с таким же по величине, как у электронов, но положительным зарядом и с такой же массой, какую имеют электроны; эти частицы называют *позитронами*. До открытия позитронов предполагали, что положительное электричество всегда неразрывно связано с атомами веществ. Обнаружилось, что позитроны в отличие от электронов весьма недолговечны: их заряд нейтрализуется (аннигилирует) в сочетании с зарядом электрона; при этом образуется электромагнитное излучение с очень малой длиной волны. Положительные заряды ядер атомов всегда кратны заряду электрона, причем порядковый номер элемента в периодической таблице Менделеева точно указывает число элементарных положительных зарядов ядра.

Даже в ядрах атомов, где заряды находятся в наибольшем сближении, по-видимому, не происходит слияния электрических зарядов. Не подлежит сомнению, что все более крупные заряды представляют собой конгломерат отдельно существующих элементарных зарядов: электронов и заряженных остовов атомов — *ионов*. Атом, утративший один, два, три своих нормальных электрона,— это соответственно одновалентный, двухвалентный, трехвалентный положительный ион (*катион*). Атом, захвативший избыточные электроны сверх нормального числа, определяемого зарядом ядра, является отрицательным ионом соответствующей валентности (*анионом*). Ионы могут также представлять собой тесную группу атомов — осколок молекулы, целую молекулу, ассоциацию молекул — с недостатком или избытком электронов.

Очевидно, что дискретность электричества сохраняется вследствие взаимного отталкивания одноименных зарядов. Но почему нижшим пределом делимости электричества является именно заряд электрона, а не какой-либо иной, больший или меньший заряд? Почему именно положительное электричество связано с ядрами атомов? Какое строение имеют электроны и позитроны? Ответа на эти вопросы мы еще не имеем.

Атомное строение электричества было установлено в последние два-три десятилетия прошлого века. Это открытие было подготовлено изучением электролиза и исследованием явлений разряда в разреженных газах, когда образуется поток электронов, движущихся от катода к аноду (катодные лучи), и встречный поток положительных ионов газа (анодные лучи).

Основные законы электролиза были обнаружены еще Фарадеем в 1833 г. Фарадей экспериментально доказал, что при перемещении к электродам авогадрова числа ионов, имеющих валентность n , отношение количества перенесенного электричества к валентности ионов всегда равно одному и тому же заряду, который получил название *заряда Фарадея* и который по позднейшим измерениям оказался равным

$$\frac{Q}{n} = F = 96\,500 \text{ кулонов.}$$

Отсюда был сделан правильный вывод, что валентные ионы любой химической природы имеют в n раз больший заряд, чем одновалентные. Далее, стало очевидным, что заряд e одновалентного иона равен частному от деления заряда Фарадея на число Авогадро:

$$e = \frac{F}{N_{\text{Ав}}} = \frac{96\,500 \cdot 3 \cdot 10^9}{6,025 \cdot 10^{23}} = 4,80 \cdot 10^{-10} \text{ CGSE.}$$

Стремление понять физический смысл законов электролиза неизменно привлекало мысль физиков к идее об атомном строении электричества. Обоснованно и довольно подробно теория атомного строения электричества была высказана Вебером в статьях 1862, 1871 и 1875 гг. В этих статьях Вебера содержится много правильных догадок об электронной проводимости металлов, о строении диэлектриков, о происхождении магнитных свойств тел и т. д. Вебер писал, что положительные и отрицательные элементарные заряды неодинаково связаны с массивными ядрами атомов: ядра атомов заряжены одним родом электричества, а частицы другого рода электричества, масса которых мала в сравнении с массой ядра, вращаются вокруг ядра. В этом предвидении фактов, которые были открыты много позже, Вебер ошибся только в знаке зарядов (он предполагал, что легчайшие частицы электричества заряжены положительно, а ядра — отрицательно).

В 70-х годах XIX в. новые указания на атомное строение электричества были даны опытами Крукса и других по исследованию катодных лучей.

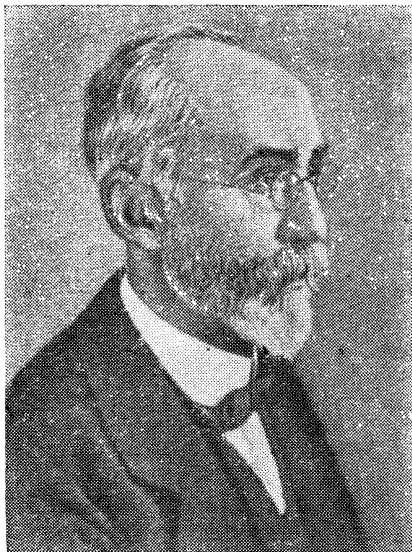
В 1881 г. идея атомного строения электричества была поддержана Гельмгольцем. «Если применить, — писал он, — атомную теорию к электрическим процессам, то в соединении с законами Фарадея она приводит к поразительным следствиям. Допуская существование химических атомов, мы принуждены заключить отсюда

далее, что также и электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные количества, которые играют роль атомов электричества».

В 1887—1888 гг. идея атомного строения электричества была подкреплена учением Сванте Аррениуса о роли ионов в химических процессах.

Стройная, физически обоснованная и развитая математически электронная теория была создана в конце прошлого века и в начале

нашего столетия главным образом трудами голландского ученого Лорентца (и отчасти Дж. Дж. Томсона, Лармора, Абрагама и др.). Теория Лорентца синтезировала максвеллову теорию непрерывного электромагнитного поля с фактами дискретности электрических зарядов и присутствия электронов в атомах вещества.



Гендрик Антоон Лорентц
(1853—1928).

В последующие годы замечательная по своей глубине и ясности электронная теория Лорентца была дополнена в основном по двум направлениям: в 1905—1908 гг. Альберт Эйнштейн, продолжая исследования Лорентца и Пуанкаре, построил электродинамику явлений, происходящих при движении электронов со скоростями, близкими к скорости света («теорию относительности»); в более поздние годы — с 1913 и, в особен-

ности, с 1926 г. — электронная теория была дополнена выводами, сделанными в связи с развитием квантовой физики.

Следует отметить, что одно из основных положений электронной теории, а именно утверждение, что все элементарные электрические заряды строго одинаковы, долгое время вызывало сомнения. Неоднократно высказывалось предположение, что обычно наблюдаемые электроны не представляют собой наименьших электрических зарядов, какие могут существовать в природе. Делались гипотезы о существовании частиц, имеющих заряд в десятки, в сотни или в тысячи раз меньший, чем заряд одного электрона; этим никогда не наблюдавшимся дробным от электрона зарядам было дано даже особое название — *субэлектроны*. Гипотеза субэлектронов не получила никакого подтверждения.

Наиболее точные опыты по определению заряда электрона и по выяснению вопроса о существовании субэлектронов были произведены (1909—1914) американским физиком Милликемом.

Милликем наблюдал движение мельчайших заряженных электричеством капелек. При помощи особого пульверизатора мелкие капельки масла вдувались в камеру *A*, где они медленно падали на дно (рис. 2). Многие из этих капелек благодаря трению в пульверизаторе оказывались заряженными. Некоторые из них, падая, попадали в отверстие *a* и сквозь него в электрическое поле конденсатора. Здесь движение капелек могло быть наблюдаемо сквозь

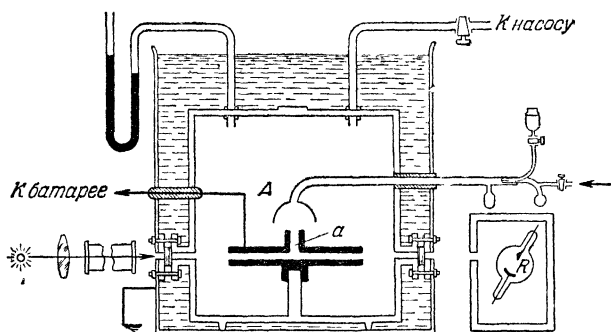


Рис. 2. Схема милликемовой камеры для наблюдения наэлектризованных капелек.

небольшое окошечко при помощи короткофокусной трубы. Производя перезарядку конденсатора и меняя таким образом направление электрического поля в конденсаторе, можно было заставлять двигаться одну и ту же капельку то вверх, то вниз, не выпуская ее в то же время из поля зрения трубы. По напряжению, которое нужно было создавать на обкладках конденсатора, чтобы силой поля уравновесить тяжесть капельки, можно было определить заряд капельки. Опыт показал, что капельки всегда несут на себе заряды, кратные заряду одного электрона.

Во многих случаях движение одной и той же капельки можно было наблюдать в течение нескольких часов. В продолжение этого времени заряд капли несколько раз вдруг резко менялся благодаря случайному присоединению к ней ионов воздуха. Изменение заряда всегда происходило на величину заряда одного или двух электронов. Таким образом, было доказано, что заряд электрона представляет собой не какую-либо среднестатистическую величину, но является истинным атомом электричества.

К тому же выводу привели и опыты акад. Абрама Федоровича Иоффе (1912 г.). В этих опытах проводилось наблюдение мельчайших металлических пылинок, заряженных отрицательно, взвешен-

ных в электрическом поле плоского конденсатора и освещавшихся ультрафиолетовым светом небольшой интенсивности. Под действием света отрицательный заряд металлических пылинок уменьшался. Явление потери отрицательного электрического заряда металлами при освещении их ультрафиолетовым светом было изучено еще в 1888 г. русским ученым А. Г. Столетовым (впоследствии это явление было названо фотоэффектом). Опытами А. Ф. Иоффе было доказано, что уменьшение заряда металлических пылинок под действием света происходит прерывисто, внезапно, всегда на величину заряда электрона.

Милликен на основании своих многократно воспроизведенных опытов пришел к заключению, что численное значение заряда электрона равно $4,770 \cdot 10^{-10}$ абс. эл.-ст. ед. количества электричества. В последние годы на основании всей совокупности экспериментов по определению заряда электрона считают, что заряд электрона равен

$$e = (4,8029 \pm 0,0002) \cdot 10^{-10} \text{ абс. эл.-ст. ед. количества электричества.}$$

Эта величина заряда электрона соответствует значению числа Авогадро

$$N_{\text{Ав}} = 6,025 \cdot 10^{23}$$

и значению заряда Фарадея

$$F = 96\,520 \text{ кулонов.}$$

Указанные значения $N_{\text{Ав}}$ и F принимают в «физической» шкале, когда атомные веса элементов определяют, исходя из того, что атомный вес изотопа кислорода O^{16} равен в точности шестнадцати. Имеет применение и так называемая «химическая» шкала, в которой атомные веса элементов определяют, исходя из соглашения, что число 16 точно определяет атомный вес природной смеси нескольких изотопов кислорода. В этой «химической» шкале число Авогадро и заряд Фарадея получаются в 1,000272 раза меньшими, т. е. $6,023 \cdot 10^{23}$ и 96 496 кулонов.

§ 4. Напряженность электрического поля

Электрическим полем называют особую форму материи, скрытые, еще не разгаданные движения которой проявляются в пространстве (даже в абсолютном вакууме) в виде *электрических сил*, т. е. сил, действующих на электрические заряды и вызываемых электрическими зарядами, причем величина этих сил *не зависит от скорости движения зарядов*. В рассматриваемой части электрического поля может и не быть электрических зарядов; но когда туда внесен «пробный» электрический заряд, он сразу оказывается под действием электрической силы, вызванной в данной точке поля зарядами, которые расположены в других частях поля.