

металлы, растворы кислот, солей и щелочей, расплавленные соли, раскаленные газы и др., а диэлектриками — янтарь, стекло, каучук, масла, сера, слюда, эбонит, газы при обычных условиях и др.

Вообще говоря, разделение тел на проводники и диэлектрики условно, так как способность тела хуже или лучше проводить электричество зависит от тех условий, в которых оно находится. Так, например, при высокой температуре стекло становится проводником. Кроме того, существует большая группа веществ, называемых **полупроводниками**, которые занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Современные воззрения на механизм проводимости твердых тел рассмотрены в гл. XIII.

4. При электризации тел трением всегда одновременно электризуются оба тела, причем одно из них получает положительный заряд, а другое — отрицательный. Положительный заряд первого тела всегда в точности равен отрицательному заряду второго тела, если до электризации оба тела не были заряжены. Этот результат служит экспериментальным подтверждением одного из фундаментальных законов природы — **закона сохранения электрического заряда**: *алгебраическая сумма электрических зарядов тел или частиц, образующих электрически изолированную систему, не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе.*

В любом нейтральном веществе имеются заряды обоих знаков и притом в равных количествах. В результате соприкосновения двух тел при трении часть зарядов переходит из одного тела в другое. Равенство суммы положительных и суммы отрицательных зарядов в каждом из этих тел нарушается, и они заряжаются разноименно. При электризации тела через влияние в нем нарушается равномерное распределение зарядов. Заряды перераспределяются таким образом, что в одной части тела возникает избыток положительных зарядов, а в другой — отрицательных. Если эти две части тела разъединить, то они оказываются заряженными разноименно.

В рассматриваемой системе могут образовываться новые заряженные частицы, например, вследствие явления электролитической диссоциации электролитов (см. § 11.1), ионизации газов (см. § 12.1) и т. д. Однако если система электрически изолирована, то суммарный заряд всех частиц, вновь появившихся в такой системе, всегда равен нулю.

§ 1.2. Закон Кулона

1. Основной закон взаимодействия электрических зарядов был найден Ш. Кулоном (1785) экспериментальным путем с помощью крутильных весов, устройство которых описано в § 6.1 первого тома (опыт Кэвендиша). Кулон установил, что сила взаимодействия F между двумя небольшими заряженными шариками обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними и зависит от величины их зарядов q_1 и q_2 .

Никаких способов измерения величины электрических зарядов в то время еще не было. Однако это не помешало Кулону найти вид зависимости силы F от q_1 и q_2 . Он использовал следующий факт: если за-

ряженный проводящий шарик привести в соприкосновение с точно таким же незаряженным шариком, то заряд первого равномерно распределится между обоими шариками. Иными словами, заряд каждого из них будет вдвое меньше исходного. Точно так же можно уменьшить заряд шарика в четыре, восемь раз и т. д. Таким образом, не зная абсолютных значений зарядов q_1 и q_2 , их можно уменьшать в известное число раз.

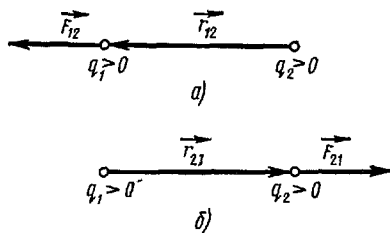


Рис. 1.1

Опыты, поставленные Кулоном, показали, что при постоянных r и q_1 сила взаимодействия F между заряженными шариками изменяется пропорционально величине заряда q_2 второго шарика, а при постоянных r и q_2 — пропорционально величине заряда q_1 первого шарика. Этим было доказано, что сила F пропорциональна произведению $q_1 q_2$.

Обобщив все эти результаты, Кулон нашел, что

$$F = \kappa_1 \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1.1)$$

где κ_1 — коэффициент пропорциональности ($\kappa_1 > 0$).

2. Кулон экспериментально установил, что силы, действующие на заряды, являются **центральными**, т. е. они направлены вдоль прямой, соединяющей заряды. Для одноименных зарядов ($q_1 > 0$ и $q_2 > 0$ или $q_1 < 0$ и $q_2 < 0$) произведение $q_1 q_2 > 0$. Поэтому в формуле (1.1) сила $F > 0$ соответствует случаю взаимного отталкивания одноименных зарядов, а сила $F < 0$ — случаю взаимного притяжения разноименных зарядов.

Закон Кулона (1.1) можно записать в векторной форме¹. Сила, действующая на заряд q_1 со стороны заряда q_2 , равна

$$\mathbf{F}_{12} = \kappa_1 \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r}, \quad (1.2)$$

где \mathbf{r}_{12} — радиус-вектор, соединяющий заряды q_2 и q_1 (рис. 1.1, а), $r = |\mathbf{r}_{12}|$.

Соответственно сила \mathbf{F}_{21} , действующая на заряд q_2 , равна

$$\mathbf{F}_{21} = \kappa_1 \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}_{21}}{r}, \quad (1.3)$$

где $\mathbf{r}_{21} = -\mathbf{r}_{12}$ — радиус-вектор, соединяющий заряды q_1 и q_2 (рис. 1.1, б).

3. Закон Кулона в форме (1.1) или (1.2) и (1.3) справедлив только для взаимодействия точечных электрических зарядов, т. е. таких заряженных тел, линейными размерами которых можно пренебречь

¹ В тексте векторные величины обозначаются жирными буквами, а на рисунках — светлыми буквами со стрелками наверху.

по сравнению с расстоянием между ними. Кроме того, он выражает силу взаимодействия между неподвижными зарядами, т.е. это закон электростатический¹. Закон Кулона можно сформулировать следующим образом:

сила электростатического взаимодействия между двумя точечными электрическими зарядами пропорциональна произведению величин зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль соединяющей их прямой так, что одноименные заряды притягиваются, а разноименные отталкиваются.

Всякое заряженное тело можно рассматривать как совокупность точечных зарядов аналогично тому, как в механике всякое тело можно считать совокупностью материальных точек. Поэтому электростатическая сила, с которой одно заряженное тело действует на другое, равна векторной сумме сил, приложенных ко всем точечным зарядам второго тела со стороны каждого точечного заряда первого тела.

Расчеты показывают, что закон Кулона в форме (1.1) справедлив также и для взаимодействия заряженных тел шарообразной формы, если заряды q_1 и q_2 распределены равномерно по всему объему или по всей поверхности этих тел. При этом радиусы тел могут быть соизмеримы с расстоянием r между их центрами.

4. Кулон изучал взаимодействие между зарядами, находящимися в воздухе. Дальнейшие экспериментальные исследования показали, что при прочих равных условиях сила электростатического взаимодействия между двумя точечными зарядами зависит от свойств среды, в которой эти заряды находятся. Следовательно, коэффициент пропорциональности k_1 в законе Кулона (1.1) также зависит от свойств среды. Кроме того, коэффициент k_1 , как и всякий коэффициент пропорциональности в формуле, выражающей тот или иной физический закон, должен зависеть от выбора единиц величин, входящих в формулу (1.1). Поэтому k_1 удобно представить в виде отношения двух коэффициентов²:

$$k_1 = k/\epsilon, \quad (1.4)$$

где k — коэффициент, зависящий только от выбора системы единиц, ϵ — безразмерная величина, характеризующая электрические свойства среды и называемая **относительной диэлектрической проницаемостью среды**. Она не зависит от выбора системы единиц и считается равной единице для вакуума. Учитывая (1.4), закон Кулона (1.1) можно переписать в такой форме:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}. \quad (1.5)$$

¹ В § 18.1 показано, что сила взаимодействия между двумя движущимися точечными зарядами отлична от кулоновской силы их электростатического взаимодействия.

² Здесь и в дальнейшем предполагается, что среда безгранична, однородна и изотропна, т.е. ее свойства одинаковы по всему объему и не зависят от направления.

Если заряды q_1 и q_2 находятся в вакууме ($\epsilon = 1$) на том же расстоянии r друг от друга, то сила их взаимодействия численно равна

$$F_0 = \kappa \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1.5')$$

Из (1.5) и (1.5') следует

$$\epsilon = F_0/F. \quad (1.6)$$

5. Необходимо специально подчеркнуть, что соотношения (1.4), (1.5) и (1.6) отнюдь не универсальны в отличие от формулы (1.5'), выражающей закон Кулона для вакуума. Они верны, если точечные заряды q_1 и q_2 находятся в однородном, безграничном и изотропном газе, жидком или твердом диэлектрике. В этом случае уменьшение силы F по сравнению с F_0 в ϵ раз обусловлено **явлением электрострикции**, т. е. деформации диэлектрика под влиянием заряженных тел. При деформации жидкие и газообразные диэлектрики, прилегая вплотную к заряженным телам, производят на них дополнительное механическое воздействие. В твердых диэлектриках заряженные тела (заряды q_1 и q_2) всегда располагаются внутри каких-то полостей и расчет сил F_{12} и F_{21} , действующих на заряды q_1 и q_2 , сильно осложняется. Оказывается, что при прочих равных условиях эти силы зависят от формы тех полостей, в которых находятся рассматриваемые заряды.

§ 1.3. Системы единиц электрических величин

1 Для электрических величин приняты две системы единиц: Международная система единиц (СИ) и абсолютная электростатическая система единиц СГСЭ.

В СИ использованы семь основных единиц и две дополнительные (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Единица	Физическая величина	Обозначение единицы
<i>Основные</i>		
метр	длина	м
килограмм	масса	кг
секунда	время	с
моль	количество вещества	моль
кельвин	температура	К
ампер	сила электрического тока	А
кандела	сила света	кд
<i>Дополнительные</i>		
радиан	плоский угол	рад
стерадиан	телесный угол	ср