

# Электростатика

Закон Кулона, закон сохранения заряда

---

С современной точки зрения, носителями зарядов являются элементарные частицы. Все обычные тела состоят из атомов, в состав которых входят положительно заряженные протоны, отрицательно заряженные электроны и нейтральные частицы – нейтроны. Протоны и нейтроны входят в состав атомных ядер, электроны образуют электронную оболочку атомов. Электрические заряды протона и электрона по модулю в точности одинаковы и равны элементарному заряду  $e$ .

В нейтральном атоме число протонов в ядре равно числу электронов в оболочке. Это число называется атомным номером. Атом данного вещества может потерять один или несколько электронов или приобрести лишний электрон. В этих случаях нейтральный атом превращается в положительно или отрицательно заряженный ион.

Заряд может передаваться от одного тела к другому только порциями, содержащими целое число элементарных зарядов. Таким образом, электрический заряд тела – дискретная величина:

---

Заряд может передаваться от одного тела к другому только порциями, содержащими целое число элементарных зарядов. Таким образом, электрический заряд тела – дискретная величина:

$$q = \pm ne \quad (n = 0, 1, 2, \dots).$$

Физические величины, которые могут принимать только дискретный ряд значений, называются квантованными. Элементарный заряд  $e$  является квантом (наименьшей порцией) электрического заряда. Следует отметить, что в современной физике элементарных частиц предполагается существование так называемых кварков – частиц с дробным зарядом

$$\pm \frac{1}{3}e \quad \pm \frac{2}{3}e.$$

Однако, в свободном состоянии кварки до сих пор наблюдать не удалось.

В обычных лабораторных опытах для обнаружения и измерения электрических зарядов используется *электромметр* – прибор, состоящий из металлического стержня и стрелки, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси (рис. 1). Стержень со стрелкой изолирован от металлического корпуса. При соприкосновении заряженного тела со стержнем электромметра, электрические заряды одного знака распределяются по стержню и стрелке. Силы электрического отталкивания вызывают поворот стрелки на некоторый угол, по которому можно судить о заряде, переданном стержню электромметра.

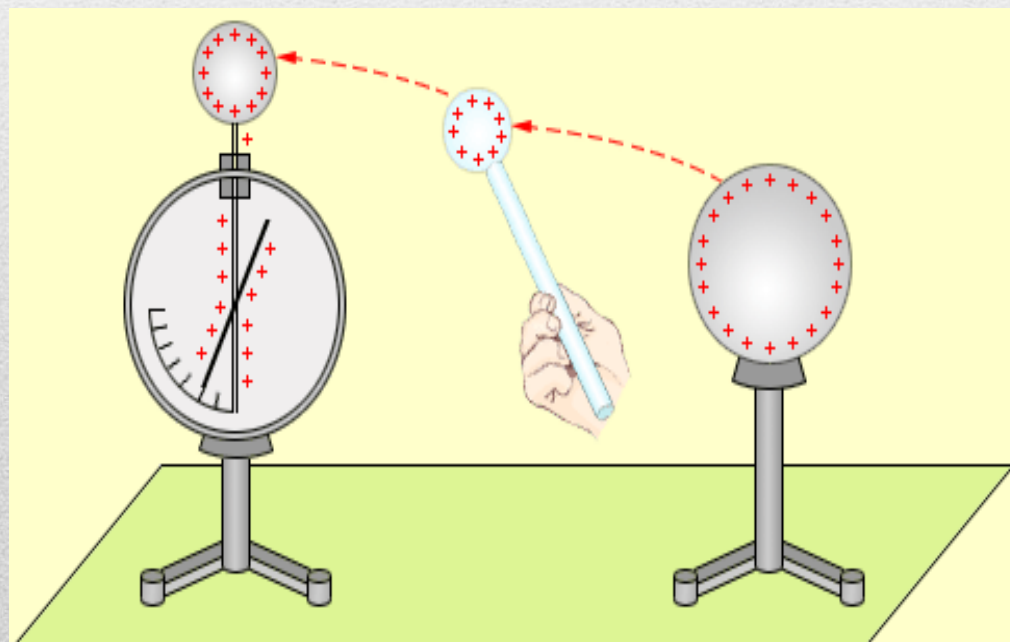
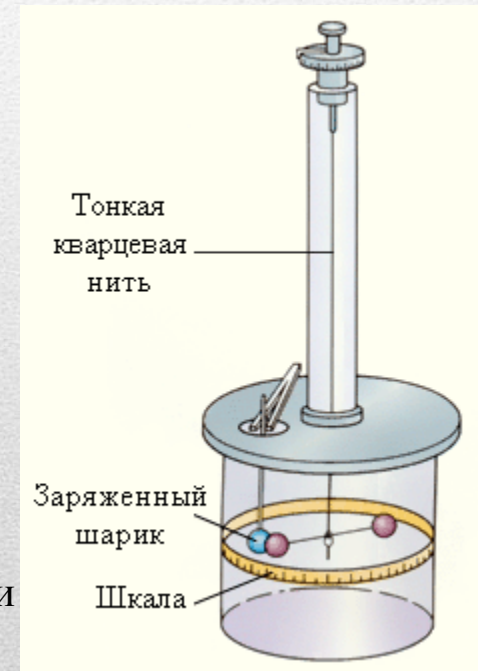


Рисунок 1.1.1.  
Перенос заряда с заряженного  
тела на электромметр

Электрометр является достаточно грубым прибором; он не позволяет исследовать силы взаимодействия зарядов. Впервые закон взаимодействия неподвижных зарядов был открыт французским физиком Ш. Кулоном в 1785 г. В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора – крутильных весов (рис. 1.1.2), отличавшихся чрезвычайно высокой чувствительностью. Так, например, коромысло весов поворачивалось на  $1^\circ$  под действием силы порядка  $10^{-9}$  Н.

Идея измерений основывалась на блестящей догадке Кулона о том, что если заряженный шарик привести в контакт с точно таким же незаряженным, то заряд первого разделится между ними поровну. Таким образом, был указан способ изменять заряд шарика в два, три и т. д. раз. В опытах Кулона измерялось взаимодействие между шариками, размеры которых много меньше расстояния между ними. Такие заряженные тела принято называть **точечными зарядами**.

Рисунок 1.1.2.  
Прибор Кулона



Ранее мы говорили, что между заряженными телами действуют силы, но любая физическая величина тогда лишь чего-либо стоит, когда ее можно измерить. Считается, что первым измерил электрические силы Шарль Кулон в 1785 году, однако до него это же сделал английский физик Генри Кавендиш. Но так уж повелось в науке, что первым объявляется тот, кто первым опубликовал свою работу, а работа Кавендиша была опубликована только более чем через сто лет, в 1879 году.

В 1784 году Ш. Кулон тоже изобрел свои крутильные весы, с помощью которых он смог измерить очень малые силы взаимодействующих зарядов и открыть закон, которому дали его имя (ведь о работах Генри Кавендиша тогда еще никто не знал).

---

Закон Кулона — это закон, описывающий силы взаимодействия между точечными электрическими зарядами.

Был открыт Шарлем Кулоном в 1785 г.



Проведя большое количество опытов с металлическими шариками, Шарль Кулон дал такую формулировку закона:

*Модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорционален произведению модулей этих зарядов и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними*

Иначе: Два точечных заряда в вакууме действуют друг на друга с силами, которые пропорциональны произведению модулей этих зарядов, обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними и направлены вдоль прямой, соединяющей эти заряды. Эти силы называются электростатическими (кулоновскими).

---



Важно отметить, что для того, чтобы закон был верен, необходимы:

! точечность зарядов — то есть расстояние между заряженными телами много больше их размеров

! впрочем, можно доказать, что сила взаимодействия двух объёмно распределённых зарядов со сферически симметричными непересекающимися пространственными распределениями равна силе взаимодействия двух эквивалентных точечных зарядов, размещённых в центрах сферической симметрии;

! их неподвижность. Иначе вступают в силу дополнительные эффекты: магнитное поле движущегося заряда и соответствующая ему дополнительная сила Лоренца, действующая на другой движущийся заряд;

! взаимодействие в вакууме

---

*Точечным зарядом* называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

На основании многочисленных опытов Кулон установил следующий закон:

**Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:**

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}.$$

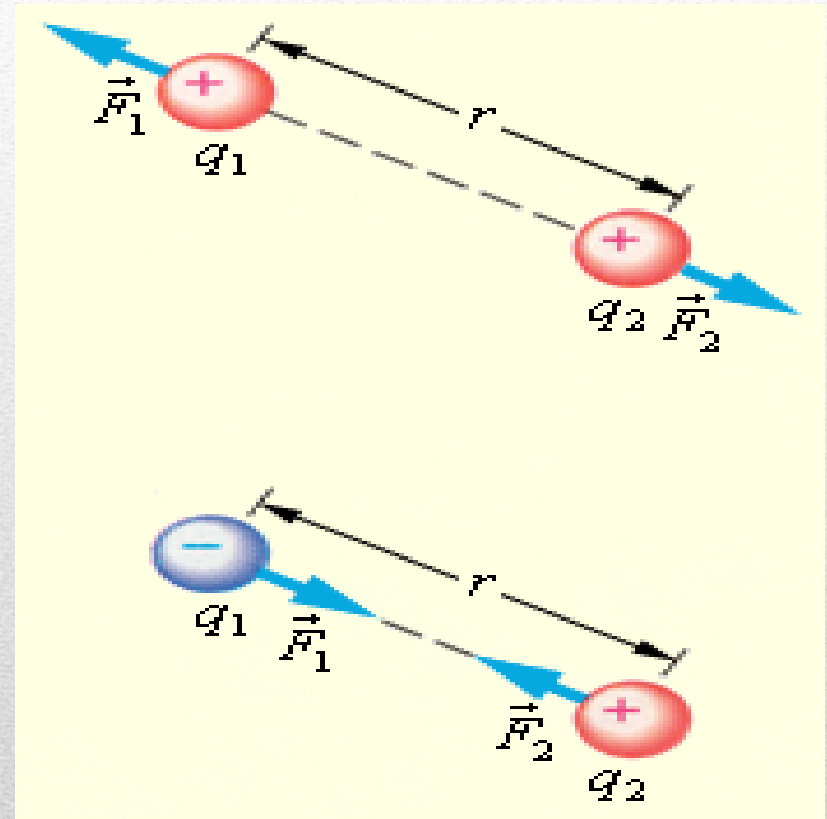
Силы взаимодействия подчиняются третьему закону Ньютона

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Они являются силами отталкивания при одинаковых знаках зарядов и силами притяжения при разных знаках (рис. 1.1.3). Взаимодействие неподвижных электрических зарядов называют электростатическим или кулоновским взаимодействием.

Раздел электродинамики, изучающий кулоновское взаимодействие, называют электростатикой.

Закон Кулона справедлив для точечных заряженных тел. Практически закон Кулона хорошо выполняется, если размеры заряженных тел много меньше расстояния между ними.



Коэффициент пропорциональности  $k$  в законе Кулона зависит от выбора системы единиц. В Международной системе СИ за единицу заряда принят кулон (Кл).

Кулон – это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А. Единица силы тока (ампер) в СИ является наряду с единицами длины, времени и массы основной единицей измерения.

Коэффициент  $k$  в системе СИ обычно записывают в виде:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

*электрическая постоянная.*

---

*На экзамене профессор спрашивает студента: "Скажите, голубчик, что такое электрон?"*

*- Вы знаете, профессор, вчера знал, а сегодня забыл.*

*- Ай-яй-яй, - озабоченно говорит профессор, - идите скорее домой и обязательно вспомните! А то был один человек, который знал, что такое электрон, и тот забыл.*

В системе СИ элементарный заряд  $e$  равен:

$$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

---

Опыт показывает, что силы кулоновского взаимодействия подчиняются принципу суперпозиции.

**Если заряженное тело взаимодействует одновременно с несколькими заряженными телами, то результирующая сила, действующая на данное тело, равна векторной сумме сил, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.**

Рис. 1.1.4 поясняет принцип суперпозиции на примере электростатического взаимодействия трех заряженных тел.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31};$$
$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32};$$
$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23};$$

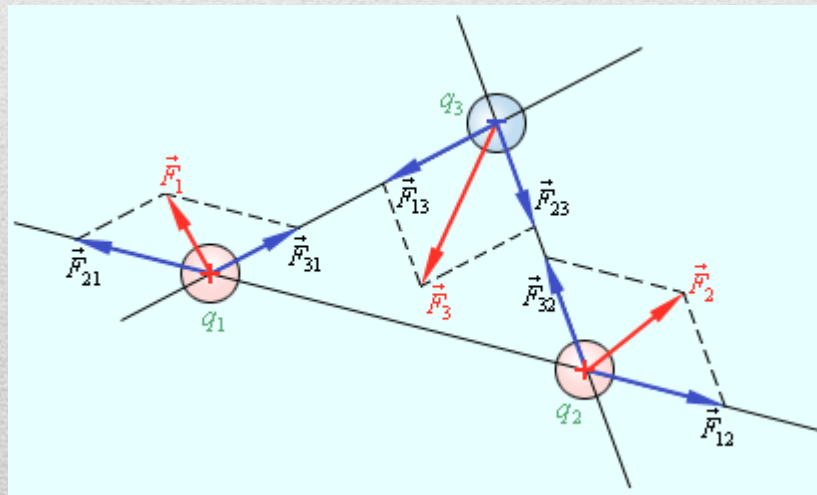


Рисунок 1.1.4.

Принцип суперпозиции является фундаментальным законом природы. Однако, его применение требует определенной осторожности, в том случае, когда речь идет о взаимодействии заряженных тел конечных размеров (например, двух проводящих заряженных шаров 1 и 2). Если к системе из двух заряженных шаров поднести третий заряженный шар, то взаимодействие между 1 и 2 изменится из-за перераспределения зарядов. Принцип суперпозиции утверждает, что при заданном (фиксированном) распределении зарядов на всех телах силы электростатического взаимодействия между любыми двумя телами не зависят от наличия других заряженных тел.

---

Одним из фундаментальных законов природы является экспериментально установленный закон сохранения электрического заряда.

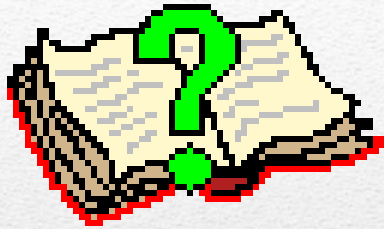
В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Закон сохранения электрического заряда утверждает, что в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы рождения или исчезновения зарядов только одного знака.

---

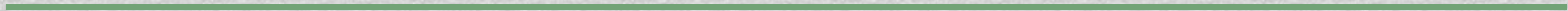
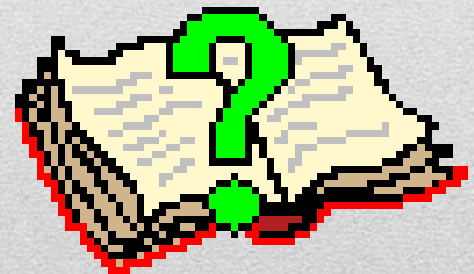




1. Какие явления природы изучает электродинамика?
2. Какие существуют виды электромагнитных сил?
3. Какие ученые внесли вклад в создание электродинамики?
4. Какие заряды считаются элементарными?
5. Как называются элементарные частицы, имеющие отрицательный и положительный заряд?
6. Какой электрический заряд называется точечным?

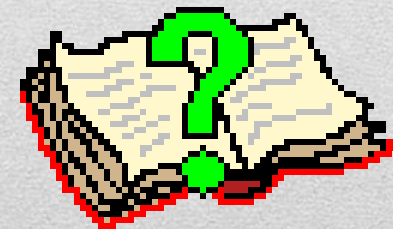


7. Какие явления происходят при электризации тел?
8. Изменяется ли масса тела при наличии на нем зарядов?
9. Каково практическое значение электризации? Где статическое электричество применяется в быту и на производстве?
10. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда?
11. В каких единицах измеряется заряд в системе СИ?



## Решение качественных задач

1. Могут ли одновременно существовать на концах эбонитовой палочки два разноименных заряда?
2. Между пульверизатором и окрашиваемым предметом создается высокое напряжение. При этом условия окрашивают небольших предметов методом разбрызгивания. Это не только экологически выгодно, но также безвредно для здоровья рабочих. Почему?
3. Как действует, на магнитную стрелку наэлектризованная палочка?
4. Для того чтобы разрядить электроскоп, бывает достаточно коснуться его пальцем. Разрядится ли электроскоп, если поблизости от него находится изолированное от земли заряженное тело?



:Обратите внимание на:

1. Знакомство с устройством и принципом действия крутильных весов.

2. Формулировку закона Кулона.

Следует обратить внимание на точечность зарядов, для которых справедлив закон Кулона, на аналогию с законом всемирного тяготения.

3. Основные особенности кулоновских сил:

А) направлены вдоль одной прямой, соединяющей заряженные тела;

Б) равны по модулю, противоположны по направлению, приложены к разным телам.

$F = k|q_1| \cdot |q_2| / r^2$  – закон Кулона;  $+\rightarrow \vec{F}_1 \quad \vec{F}_2 \leftarrow$  – силы центральные;  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2 / \text{Кл}^2$

4. Формулирование понятия о единице заряда, которая устанавливается с помощью единицы силы тока (1 ампер)  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$

---

## ЭЛЕКТРОСКОП

Существуют две близкие разновидности приборов для обнаружения электрических зарядов: электроскоп или электрометр.



Электроскоп состоит из металлического стержня, пропущенного через диэлектрическую пробку, и подвешенных к нему двух лепестков из металлической фольги. При прикосновении к стержню заряженным телом листочки оказываются одноименно заряженными и отклоняются друг от друга.



В электрометре к металлическому стержню подсоединена металлическая стрелка, которая может свободно вращаться. При прикосновении к стержню заряженным телом стрелка получает заряд такого же знака и пытается оттолкнуться от одноименно заряженного стержня, указывая на измерительной шкале величину заряда.

По величине угла расхождения лепестков электроскопа или по углу отклонения стрелки электрометра можно судить о величине электрического заряда.

Заряженный электроскоп позволяет обнаружить зарядом какого знака наэлектризовано тело.

