

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

## Лекция 9

- Многие физические явления, наблюдаемые в природе и окружающей нас жизни, не могут быть объяснены только на основе законов механики, молекулярно-кинетической теории и термодинамики. В этих явлениях проявляются силы, действующие между телами на расстоянии, причем эти силы не зависят от масс взаимодействующих тел и, следовательно, не являются гравитационными. Эти силы называют электромагнитными силами.
- Наука, изучающая электрические и магнитные явления, получила название электродинамики.
- Основными объектами изучения в электродинамике являются электрические и магнитные поля, создаваемые электрическими зарядами и токами.

# Электрический заряд. Закон Кулона

- Электрический заряд – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.
- Электрический заряд обычно обозначается буквами  $q$  или  $Q$ .
- Совокупность всех известных экспериментальных фактов позволяет сделать следующие выводы:
  - Существует два рода электрических зарядов, условно названных положительными и отрицательными.
  - Заряды могут передаваться (например, при непосредственном контакте) от одного тела к другому. В отличие от массы тела электрический заряд не является неотъемлемой характеристикой данного тела. Одно и то же тело в разных условиях может иметь разный заряд.
  - Одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются. В этом также проявляется принципиальное отличие электромагнитных сил от гравитационных. Гравитационные силы всегда являются силами притяжения.

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

В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной:

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

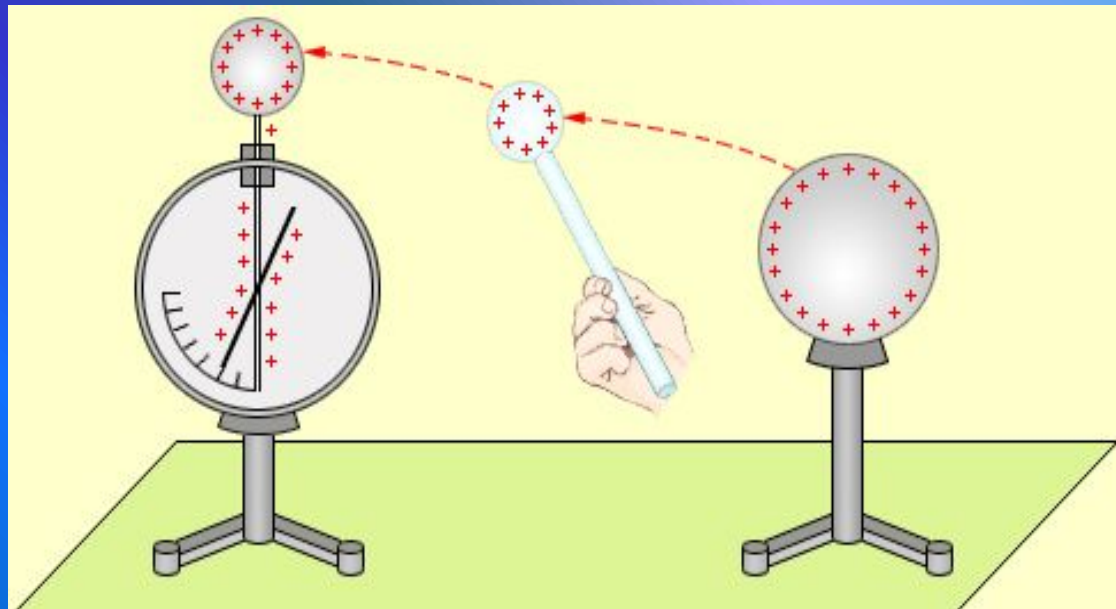
С современной точки зрения, носителями зарядов являются элементарные частицы. Все обычные тела состоят из атомов, в состав которых входят положительно заряженные протоны, отрицательно заряженные электроны и нейтральные частицы – нейтроны. Протоны и нейтроны входят в состав атомных ядер, электроны образуют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

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

В нейтральном атоме число протонов в ядре равно числу электронов в оболочке. Это число называется атомным номером.

Физические величины, которые могут принимать только дискретный ряд значений, называются квантованными.

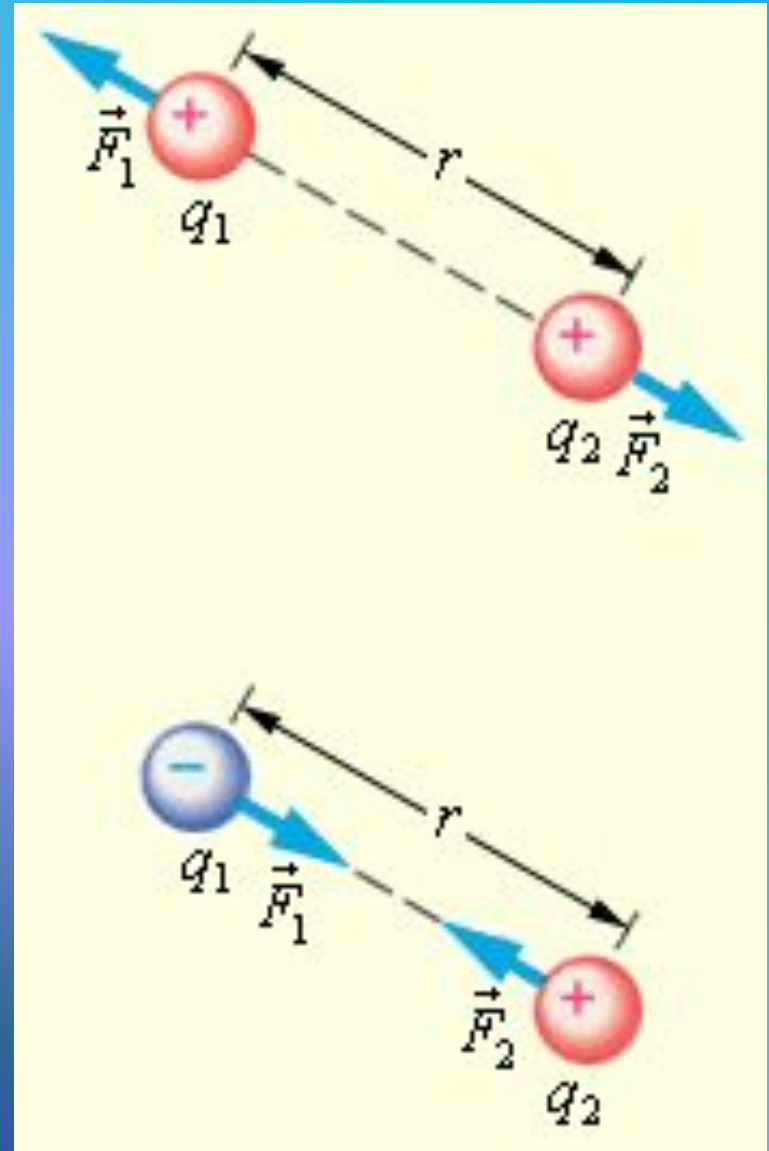
- В обычных лабораторных опытах для обнаружения и измерения электрических зарядов используется электрометр – прибор, состоящий из металлического стержня и стрелки, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси (рис.). Стержень со стрелкой изолирован от металлического корпуса. При соприкосновении заряженного тела со стержнем электрометра, 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 электрометра.



- 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:*



- Взаимодействие неподвижных электрических зарядов называют *электростатическим* или *кулоновским* взаимодействием. Раздел электродинамики, изучающий кулоновское взаимодействие, называют *электростатикой*.



- 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

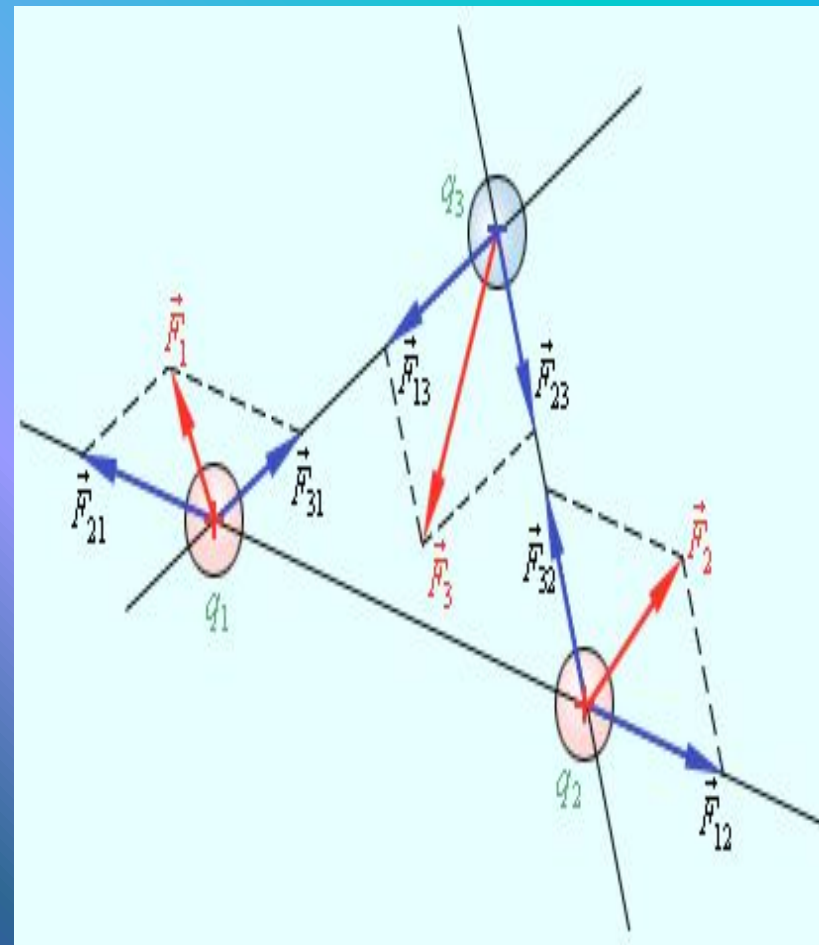
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

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



# Электрическое поле

- Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве электрическое поле. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела.
- Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого пробного заряда – небольшого по величине точечного заряда, который не вносит заметного перераспределения исследуемых зарядов.
- Для количественного определения электрического поля вводится силовая характеристика напряженность электрического поля.
- Напряженностью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$



- напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности:

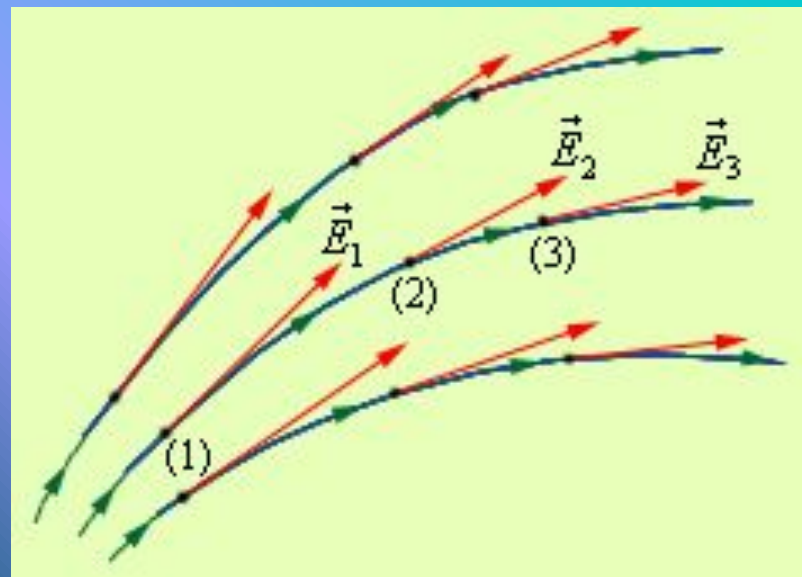
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

- Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу суперпозиции.
- В соответствии с законом Кулона, напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом  $Q$  на расстоянии  $r$  от него, равна по модулю

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

- Это поле называется кулоновским. В кулоновском поле направление вектора  $E$  зависит от знака заряда  $Q$ : если  $Q > 0$ , то вектор  $E$  направлен по радиусу от заряда, если  $Q < 0$ , то вектор  $E$  направлен к заряду

- Для наглядного представления электрического поля используют силовые линии. Эти линии проводятся так, чтобы направление вектора  $E$  в каждой точке совпадало с направлением касательной к силовой линии (рис.). При изображении электрического поля с помощью силовых линий, их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.



# Теорема Гаусса

- Введем новую физическую величину, характеризующую электрическое поле – поток  $\Phi$  вектора напряженности электрического поля. Понятие потока вектора  $E$  аналогично понятию потока вектора скорости  $V$  при течении несжимаемой жидкости. Пусть в пространстве, где создано электрическое поле, расположена некоторая достаточно малая площадка  $\Delta S$ . Произведение модуля вектора на площадь  $\Delta S$  и на косинус угла  $\alpha$  между вектором и нормалью к площадке называется элементарным потоком вектора напряженности через площадку  $\Delta S$  :

$$\Delta\Phi = E\Delta S \cos \alpha = E_n \Delta S$$

- Теорема Гаусса утверждает:

Поток вектора напряженности электростатического поля  $E$  через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов, расположенных внутри этой поверхности, деленной на электрическую постоянную  $\epsilon_0$ .

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{\text{внутри}}$$