

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕ СКОЕ ПОЛЕ

1. Электрические заряды. Электризация тел. Закон сохранения электрического заряда.

Электростатика - раздел физики, в котором рассматриваются свойства и взаимодействия **НЕПОДВИЖНЫХ** в инерциальной системе отсчета электрически заряженных тел.

Электрический заряд – q физическая величина, характеризующая свойство тел вступать в электромагнитные взаимодействия.

Единица измерения заряда $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$. 1 Кл – электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за 1 с .

Электрические заряды – положительные и отрицательные.

Электрический заряд протона и электрона называется элементарным

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Электрон имеет отрицательный заряд $-e$, протон – положительный заряд $+e$.

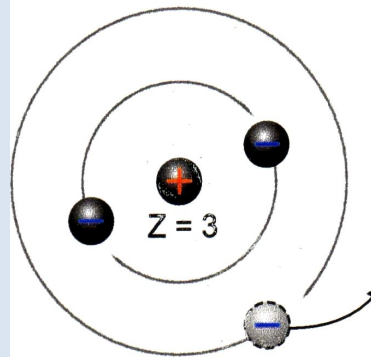
Электрически нейтральные системы содержат равное число зарядов противоположного знака.

Для электризации тела необходимо создать на нем избыток зарядов того или иного знака.

В нормальном состоянии атом нейтрален

$$q_+ + q_- = 0$$

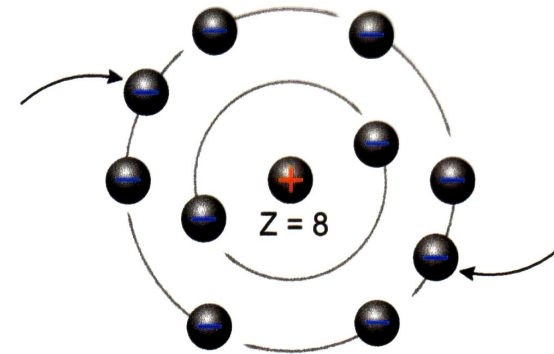
Атом может либо потерять, либо приобрести несколько электронов



Атом лития потерял электрон

$$q_+ > q_-$$

Такой атом называется
положительным ионом



Атом кислорода приобрел 2 электрона

$$q_+ < q_-$$

Такой атом называется
отрицательным ионом

Закон сохранения заряда

Алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе сохраняется

2. || Закон Кулона.

Закон Кулона, 1785 г.

Два точечных неподвижных тела взаимодействуют с силой, прямо пропорциональной произведению величин зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между зарядами. Сила направлена вдоль прямой, соединяющей заряды, причём одноимённые заряды отталкиваются, а разноимённые притягиваются.

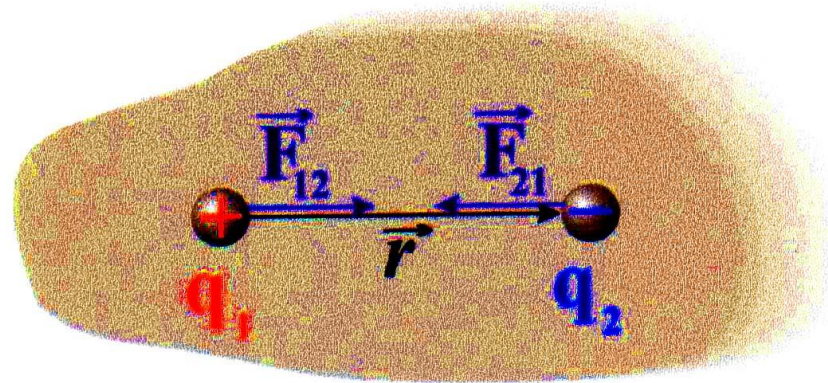
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}$$

q_1, q_2 - величины взаимодействующих зарядов, r - расстояние между зарядами.

$\vec{r}$ - радиус-вектор.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

В вакууме



$$F = F_{12} = F_{21} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Если заряды находятся в однородной и изотропной непроводящей среде

Закон Кулона

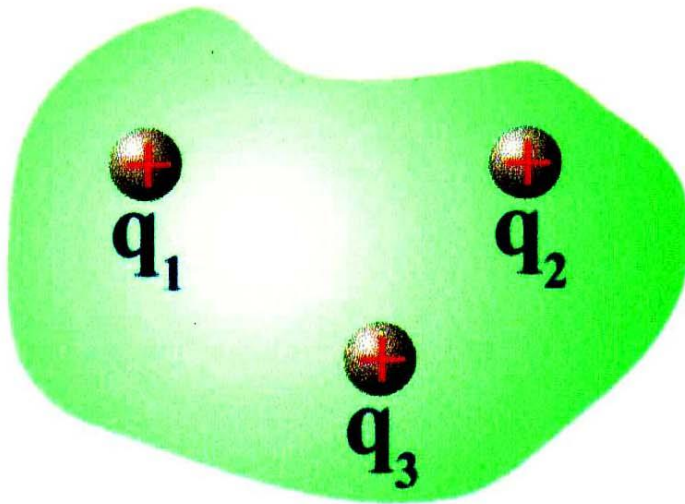


Два точечных заряда q_1 и q_2 взаимодействуют с силой

$$-\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^3} \vec{r} \quad \left(k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)$$

ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, безразмерная величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия между зарядами меньше их силы взаимодействия в вакууме $\epsilon = F_0 / F$.

Принцип суперпозиции для кулоновских сил



Пусть имеется система
точечных зарядов

Влияет ли заряд q_3 на взаимодействие зарядов q_1 и q_2 ?

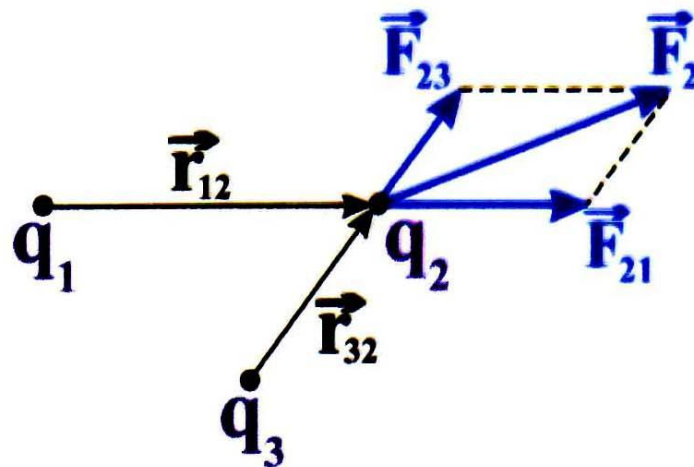
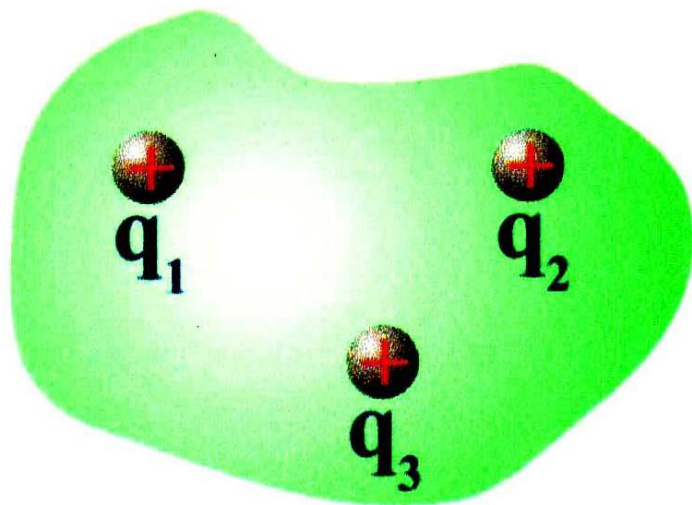
Опыт показывает:

Взаимодействие q_1 и q_2 не зависит от присутствия q_3 .

Принцип суперпозиции

Сила, действующая на заряд со стороны системы электрических зарядов $q_1, q_2, q_3, \dots, q_N$, равна векторной сумме сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_N$, действующих со стороны каждого заряда

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_N$$



$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

$$\vec{F}_{23} = k \frac{q_2 q_3}{r_{32}^3} \vec{r}_{32}$$

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23}$$

3. Электростатическое поле.

Щорядуємося попер

Силовое поле – протяжённый материальный объект, занимающий какую-либо часть пространства, в каждой точке которого на некоторые тела действуют вполне определённые силы.

Различные физические поля отличаются друг от друга по следующим признакам:

- 1) в результате наличия каких тел и в каких условиях то или иное поле возникает;
- 2) на какие тела (и в каких условиях) то или иное поле действует;
- 3) каковы силы, действующие на те или иные тела.

Стационарное поле — такое поле, в котором сила зависит только от координат, но не зависит от времени.

Электрический заряд — особое свойство материального объекта, которое проявляется в наличии в окружающем пространстве связанного с этим объектом электромагнитного поля.

Электростатическое поле исследуют с помощью пробного заряда **q**, помещенного в разные точки поля



Сила, действующая на пробный заряд **q₊**, зависит от точки поля

Пробный заряд не искажает исследуемое поле (не вызывает перераспределения зарядов, создающих электрическое поле).

Таким образом стационарное электрическое поле

- 1) возникает, если имеются тела, обладающие электрическим зарядом;
- 2) действует на тела, обладающие электрическим зарядом;
- 3) сила, действующая со стороны стационарного электрического поля на тела, обладающие зарядом, в конечном счёте определяется законом Кулона и принципом суперпозиции.

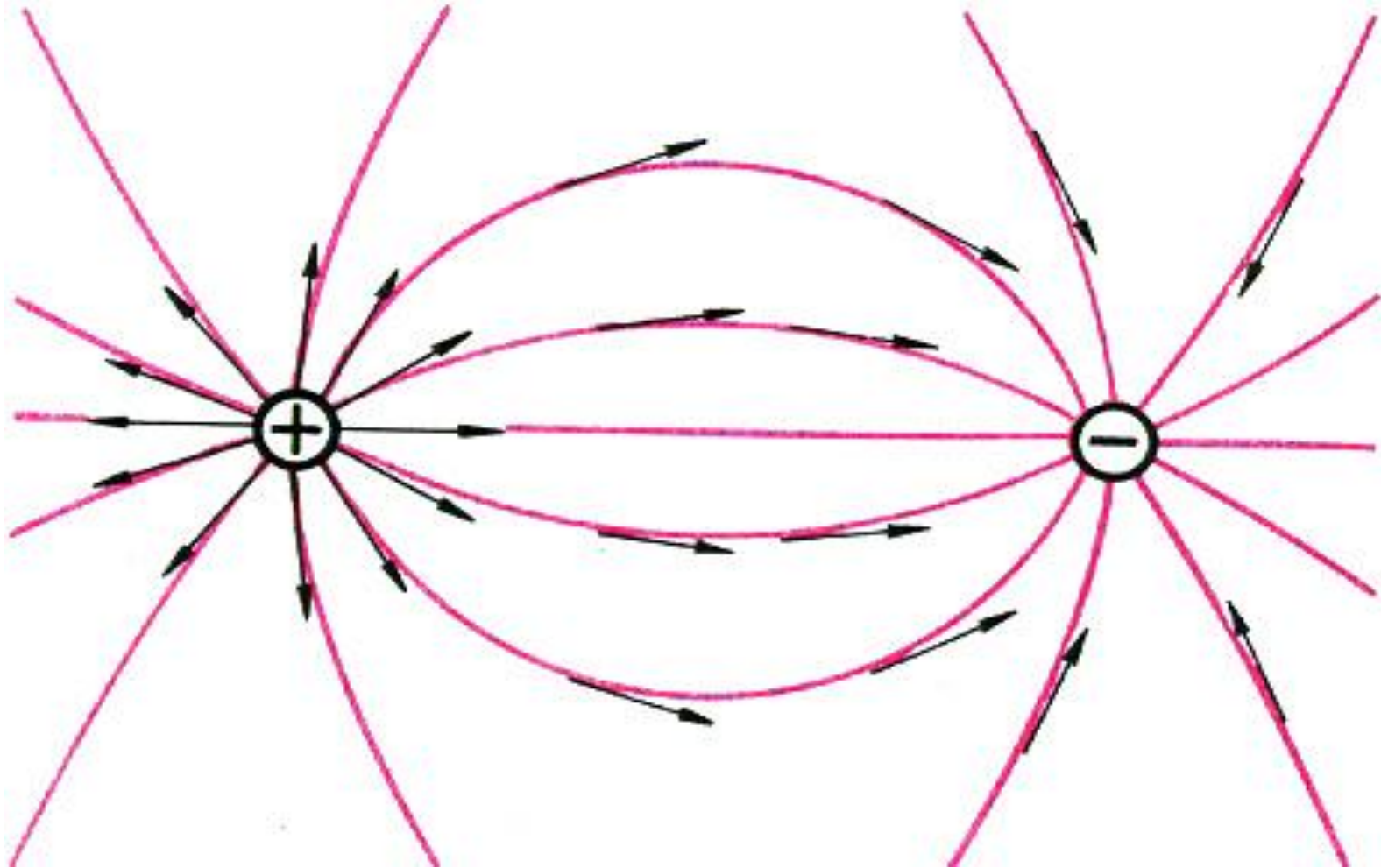
Напряжённость электрического поля — векторная величина, модуль которой равен силе, действующей на единичный точечный положительный заряд, помещённый в данную точку поля, а направление совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд.

Напряжённость поля — его **СИЛОВАЯ** характеристика.

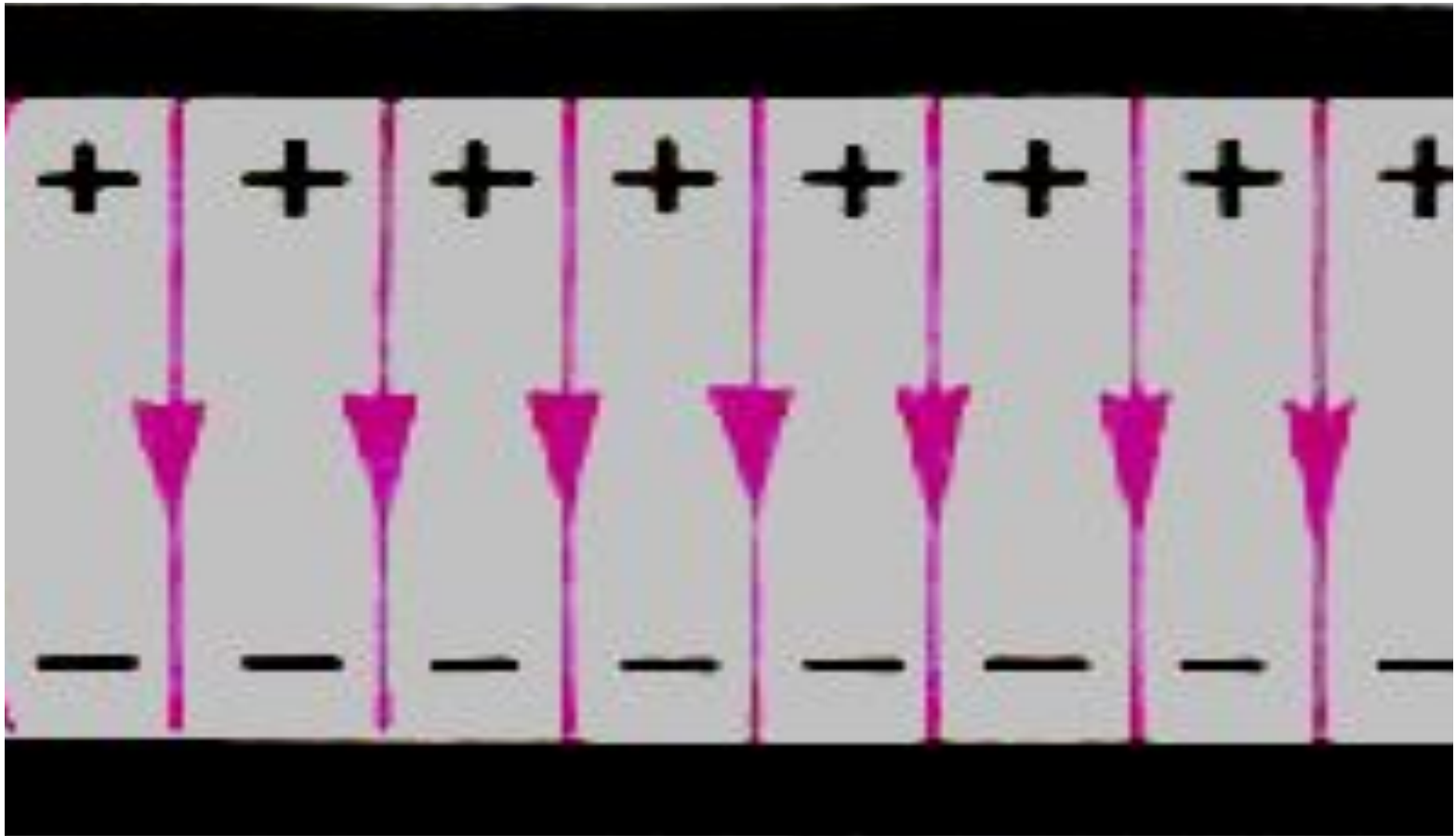
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_+} \quad \left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right)$$

$$1 \text{ Н/Кл} = 1 \text{ В/м}$$

Для графического изображения поля используются *силовые линии*. Касательные к силовым линиям совпадают с направлением вектора напряженности в данной точке поля.



В однородном поле напряженность в каждой точке одинакова по величине и направлению, поэтому оно изображается системой параллельных силовых линий, равномерно распределенных в пространстве.



Принцип суперпозиции электростатических полей

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}$$

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

Напряженность электростатического поля, создаваемого системой точечных зарядов в произвольной его точке равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых в этой точке каждым зарядом в отдельности.

4. РАБОТА ПОЛЯ НАД ЗАРЯДОМ

(для поля, созданного точечным зарядом)

$$dA = Fdl \cos \alpha = Fdr$$

$$A_{12} = \int_{r_1}^{r_2} Fdr = q \int_{r_1}^{r_2} Edr = kQq \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = q \left(k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} \right) = q(\varphi_1 - \varphi_2) =$$
$$= W_1 - W_2 \longrightarrow \varphi = k \frac{Q}{r} \text{ - потенциал точечного заряда}$$

если $r_1^{\square} = r_2^{\square}$, то $\varphi_1 = \varphi_2$

$$A = \oint_L dA = 0$$

Работа электростатического поля по перемещению точечного заряда вдоль замкнутой траектории равна нулю! (поле потенциально)

5. СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ И ПОТЕНЦИАЛОМ

$$\vec{F} = -\nabla \Pi = -\nabla W \quad \vec{F} = q\vec{E}; \quad W = q\varphi \Rightarrow$$

$$q\vec{E} = -\nabla(q\varphi) \Rightarrow \vec{E} = -\nabla\varphi;$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} - \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}; \quad E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$

«-» определяет тот факт, что линии напряженности направлены в сторону убывания потенциала!!!!

$$\vec{E} = -\nabla\varphi; \quad \longrightarrow \quad d\varphi = -\vec{E}d\vec{l} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \int_L \vec{E}d\vec{l}$$

РАБОТА ОДНОРОДНОГО ПОЛЯ НАД ЗАРЯДОМ

$$\left. \begin{aligned} A_{12} &= W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) \\ A_{12} &= q \int_L \vec{E} d\vec{l} \end{aligned} \right\} \longrightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}.$$

$$A_{12} = qEd = q\Delta\varphi$$