




Электростатика

- 
- Электрическое поле неподвижных электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними, называется **электростатическим полем**.
 - Силы, действующие на заряды со стороны электростатического поля, называются **электростатическими силами**.

Электрический заряд

- Элементарный заряд - $\pm e$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

- Величины всех зарядов кратны одному элементарному заряду e

$$q = \pm eN$$

N – количество зарядов

Закон сохранения электрического заряда

- Суммарный заряд электрически изолированной системы сохраняется.

Электрически изолированная система – система, у которой через ограничивающую ее поверхность не могут проникать электрические заряды.

Закон Кулона

- - Сила электростатического взаимодействия F двух точечных неподвижных зарядов, находящихся в вакууме, прямо пропорциональна произведению этих зарядов q_1 и q_2 , обратно пропорциональна квадрату расстояния r между зарядами и направлена вдоль соединяющей их прямой.

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

В системе
СИ

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

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{М}} \text{ – электрическая постоянная}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{М}}{\text{Ф}}$$

Точечный электрический заряд – заряженное тело, форма и размеры которого несущественны в данной задаче.

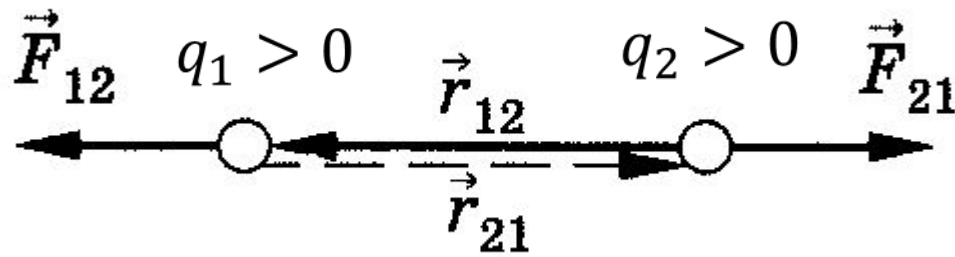
Закон Кулона в векторной форме

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

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

\vec{F}_{12} - сила, действующая на заряд q_1 со стороны заряда q_2
 \vec{r}_{12} - радиус-вектор, соединяющий заряд q_2 с зарядом q_1
 $r = |\vec{r}_{12}|$

\vec{F}_{21} - сила, действующая на заряд q_2 со стороны заряда q_1
 $\vec{r}_{21} = -\vec{r}_{12}$ - радиус-вектор, соединяющий заряд q_1 с зарядом q_2



- Кулоновская сила ($\vec{F}_{12}, \vec{F}_{21}$) – **центральная сила** (направлена вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие заряды)

Из раздела «Механика» известно, что *любое стационарное поле центральных сил является консервативным, т.е. работа сил этого поля не зависит от формы пути, а только от положения конечной и начальной точек.*

Принцип суперпозиции

- Результирующая сила F , действующая на заряд q_a со стороны N других зарядов q_1, q_2, \dots, q_N

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_{ai}$$

\vec{F}_{ai} - сила взаимодействия заряда q_a с i -тым зарядом в отсутствии остальных $N-1$ зарядов

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}$$

Силовая характеристика электрического поля.

(Векторная характеристика)

Равна отношению силы \vec{F} , действующей со стороны поля на неподвижный точечный пробный электрический заряд, помещенный в рассматриваемую точку поля, к этому заряду $q_{\text{пр}}$.

Пробный электрический заряд должен быть столь малым, чтобы его внесение в поле не вызывало изменения значений и перераспределения в пространстве электрических зарядов, напряженность поля которых измеряется с его помощью.

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Напряженность поля точечного заряда в вакууме

Рассмотрим точечный заряд q . В поле заряда q поместим пробный заряд $q_{\text{пр}}$.

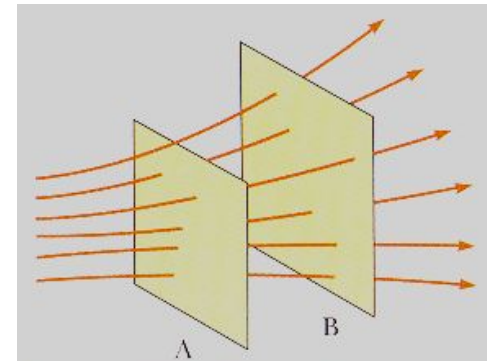
$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}} = \frac{1}{q_{\text{пр}}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_{\text{пр}}}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

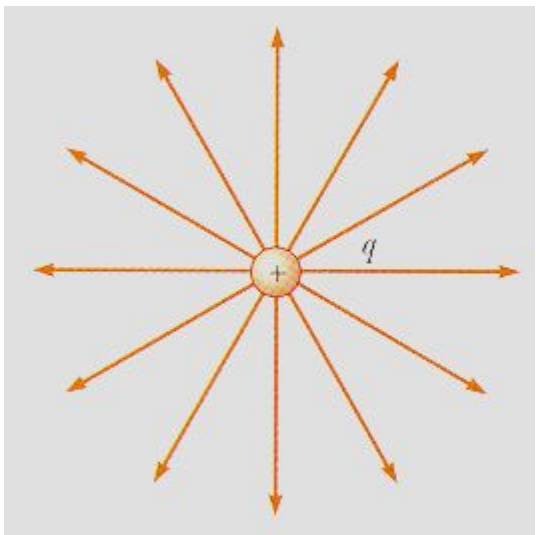
\vec{r} - радиус-вектор, проведенный в рассматриваемую точку поля из той точки O , где находится заряд q .

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

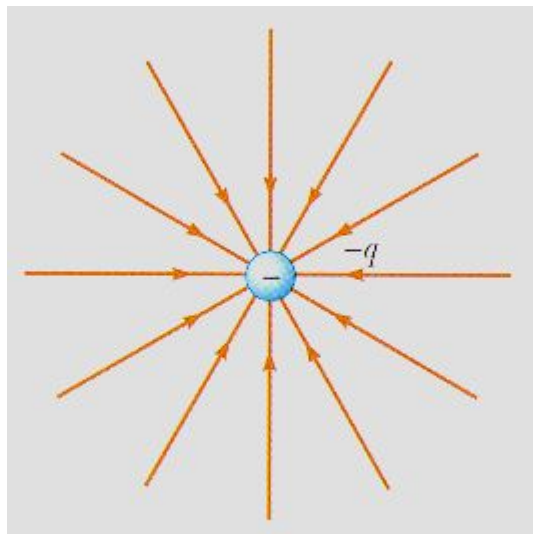
Линии напряженности электрического поля

- **линии, проведенные в поле так, что касательные к ним в каждой точке совпадают по направлению с вектором напряженности поля.**
- Линия напряженности считается направленной так же, как вектор \vec{E} поля в рассматриваемой точке линии.
- Линии напряженности не пересекаются.
- Силовые линии начинаются и заканчиваются только на зарядах, или уходят и приходят в бесконечность.
- Число силовых линий на единицу поверхности площадки, перпендикулярной линиям, пропорционально величине E в районе этой площадки ($E_A > E_B$).

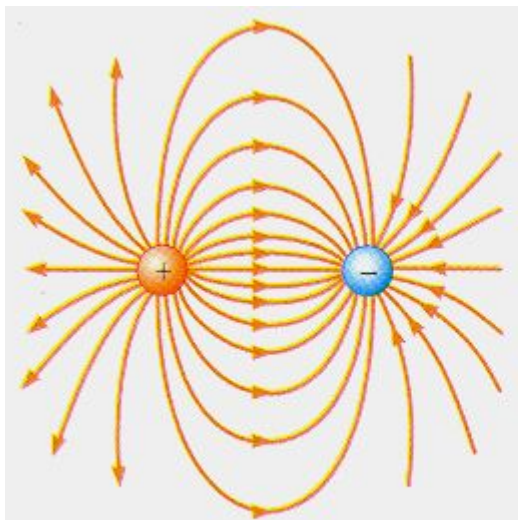




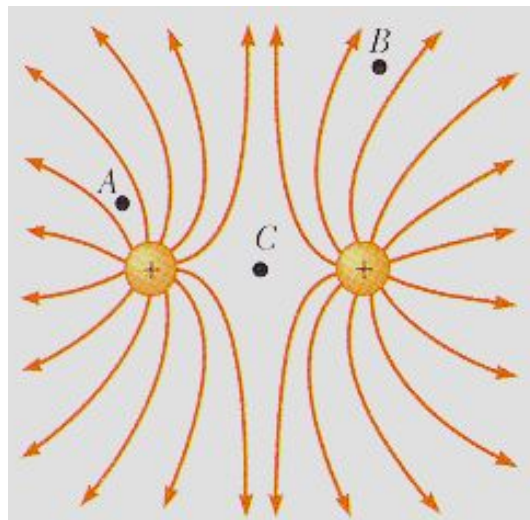
2D схема



2D схема



2D схема

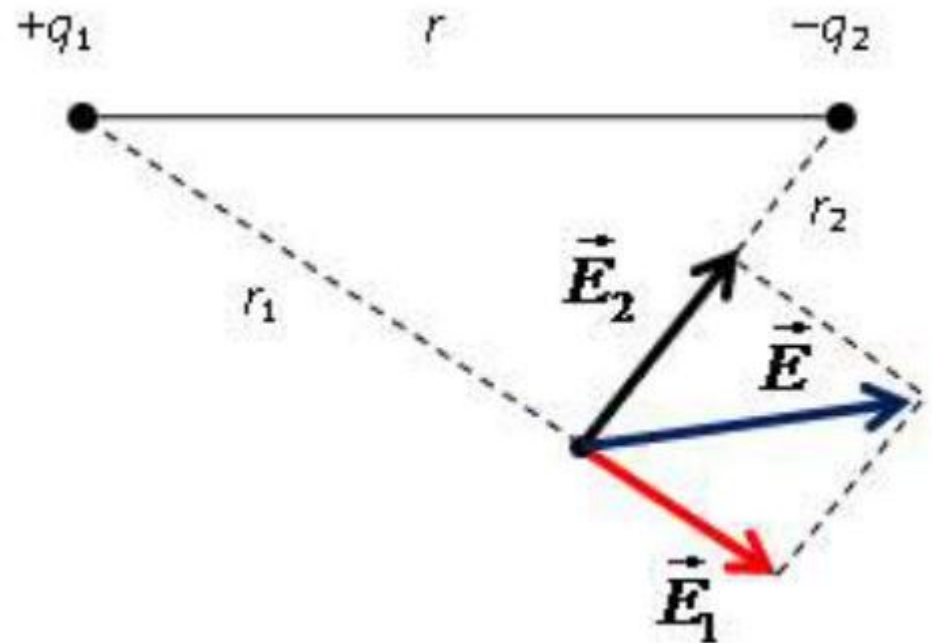


2D схема

Принцип суперпозиции электрических полей

Напряженность электрического поля системы точечных зарядов равна сумме напряженностей полей каждого из этих зарядов в отдельности.

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$



Потенциальная энергия заряда

$$W_p = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Потенциальная энергия заряда q' в поле заряда q на расстоянии r от него.

Потенциал электрического поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q'}$$

**Энергетическая характеристика
электрического поля.**

(скалярная характеристика)

**Физическая величина, определяемая
потенциальной энергией единичного
положительного, помещенного в данную
точку поля.**

$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

Потенциал поля точечного заряда

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

r – расстояние от данной точки до заряда q , создающего поле.

Принцип суперпозиции

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}$$

Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из зарядов в отдельности.

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2

Равна произведению перемещаемого заряда на разность потенциалов в начальной и конечной точках.

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Еще одно определение потенциала

Перемещаем q из произвольной точки в бесконечность ($\varphi_2 = 0$)

$$A_\infty = q\varphi_1$$

$$\varphi = \frac{A_\infty}{q}$$

Потенциал численно равен работе, которую совершают силы поля над единичным положительным зарядом при удалении его из данной точки на бесконечность.

Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi$$

Знак минус показывает, что \vec{E} направлен в сторону убывания потенциала.

$$\text{grad} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \vec{e}_z$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{e}_z$$

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

$$E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

$$E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

Теорема о циркуляции вектора \vec{E}

Работа сил поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = \int_1^2 q\vec{E} d\vec{l} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}$$

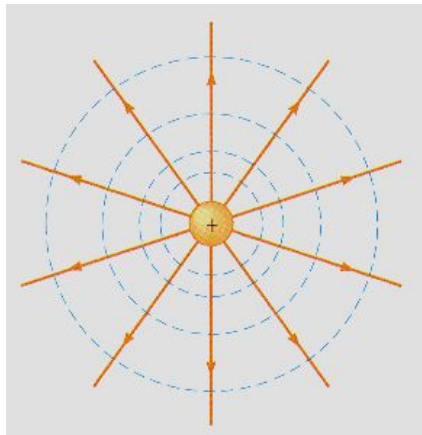
Для электростатического поля получаем, что и интеграл по замкнутому контуру равен нулю.

$$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = 0$$

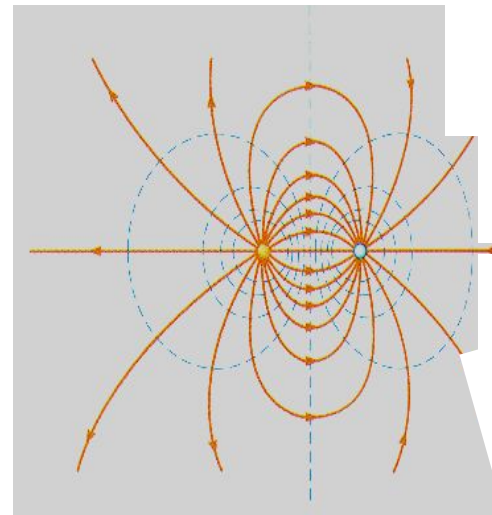
Эквипотенциальная поверхность

- - воображаемая поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал.

Эквипотенциальная поверхность всегда перпендикулярна линиям напряженности электрического поля.



Точечный заряд



Электрический диполь

Электрическое поле непрерывного распределения зарядов

Линейная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу длины.

$$\tau = \frac{Q}{l} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{м}} \right]$$

- если заряд равномерно распределен вдоль линии длиной l :

Поверхностная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу поверхности.

$$\sigma = \frac{Q}{S} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right]$$

- если заряд равномерно распределен на поверхности площадью S :

Объемная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу объема.

$$\rho = \frac{Q}{V} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{м}^3} \right]$$

- если заряд равномерно распределен по объему V :

Если заряд распределен *неравномерно*:

$$\tau = \frac{dq}{dl}$$

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

Теорема Остроградского-Гаусса

Суммарный электрический поток через произвольную замкнутую поверхность

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{внутри}}}{\epsilon_0}$$

q_{in} – суммарный заряд внутри поверхности,

\vec{E} – напряженность электрического поля
в произвольной точке на поверхности.

\vec{E} учитывает вклады зарядов как внутри, так и вне поверхности.