



ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лекция «Электростатическое поле
в вакууме и его характеристики»**

Свойства эл. заряда (ЭЗ)

- Одноименные ЭЗ отталкиваются, разноименные – притягиваются.
- Дискретность: Наименьшим отрицательным ЭЗ в свободном состоянии, по модулю равным заряду протона, обладает стабильная частица электрон:
$$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Заряд макротела $Q = N \cdot e$
- Величина и знак ЭЗ не зависят от выбора инерциальной системы отсчета (ИСО), т.е. являются инвариантными по отношению к выбору ИСО.

Закон сохранения ЭЗ

- ЭЗ ниоткуда не возникает и никуда не исчезает, а лишь перераспределяется, поэтому для электрически изолированных систем выполняется закон сохранения ЭЗ: алгебраическая сумма ЭЗ макротел (частиц), образующих электрически изолированную систему, остается постоянной с течением времени при протекании любых процессов в системе.

Задача: От водяной капли, обладающей электрическим зарядом $+2e$, отделилась маленькая капля с зарядом $-3e$. Каким стал электрический заряд оставшейся части капли?

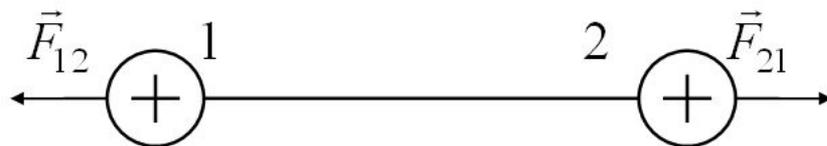
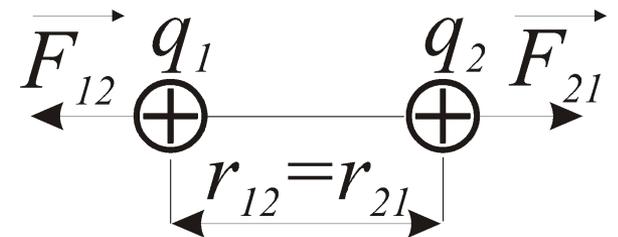
Закон Ш.Кулона

сила взаимодействия двух точечных ЭЗ в данной среде направлена вдоль прямой, соединяющей эти точечные ЭЗ, пропорциональна их величинам q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r_{12} и диэлектрической проницаемости однородной изотропной среды ε :

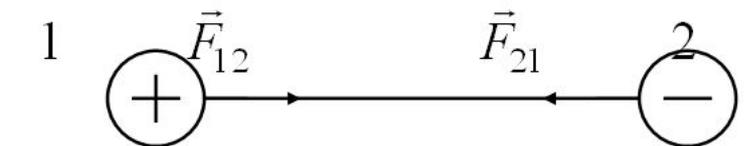
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r_{12}^3} \cdot \vec{r}_{12} \qquad F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r_{12}^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2) = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м}$$



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



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

Диэлектрическая проницаемость ϵ

- это безразмерная величина ϵ , которая показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух ЭЗ в вакууме больше, чем их сила взаимодействия (притяжения или отталкивания) в веществе

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon \cdot r_{12}^2} \quad \frac{F_{\text{вакуум}}}{F_{\text{вещество}}} = \epsilon$$

Например, для воздуха и вакуума $\epsilon=1$,

а для слюды (диэлектрика) $\epsilon=6$,

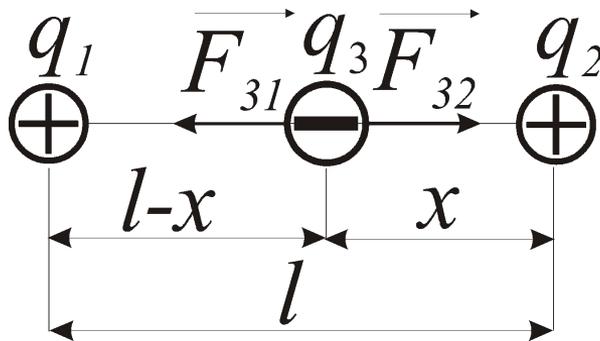
т.е. слюда ослабляет взаимодействие зарядов в 6 раз.

Диэлектрические проницаемости веществ (ϵ)

Вода.....	81	Парафин.....	2,1
Керосин.....	2,1	Слюда.....	6
Масло.....	2,5	Стекло.....	7

Применение закона Кулона

Для равновесия системы точечных зарядов необходимо и достаточно, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд системы, была равна нулю. Например, для нахождения точки равновесия для точечного заряда q_3 необходимо, чтобы



$$F_{31} = F_{32}$$
$$k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{(l-x)^2} = k \frac{|q_2| \cdot |q_3|}{x^2}$$

Если же ЭЗ q_3 может двигаться только вдоль прямой, проходящей через центры зарядов, то для устойчивого равновесия его знак должен быть «+». В этом случае кулоновские силы сами стремятся вернуть его в положение равновесия, но это частный случай. В общем же случае согласно теореме С.Ирншоу (XIX в.): всякая равновесная конфигурация покоящихся точечных ЭЗ неустойчива, если на них кроме кулоновских сил притяжения и отталкивания никакие другие силы (иной природы) не действуют

Силовая и энергетическая характеристика ЭП

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dr = k \int_{r_1}^{r_2} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} dr = -k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r} \Big|_{r_1}^{r_2} = k |q_1| \cdot |q_2| \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = -\Delta W,$$

$$W = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r} + C$$

$A = \oint_L \vec{F} d\vec{r} = 0$ - условие потенциальности ЭП: работа A сил ЭП при перемещении в нем точечного заряда $q_{пр}$ по замкнутому контуру должна быть равна нулю.

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

и

$$\varphi = \frac{W}{q_{пр}} = k \cdot \frac{q}{r}$$

Связь характеристик ЭП через производную

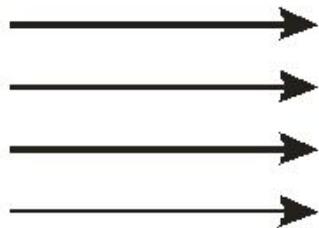
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{r^2} \quad \text{и} \quad \varphi = \frac{W}{q_{np}} = k \cdot \frac{|q|}{r} + C$$

$$E = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}$$

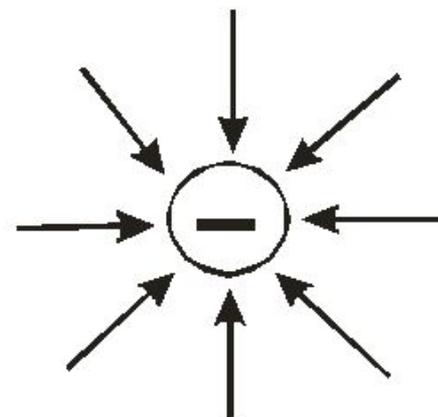
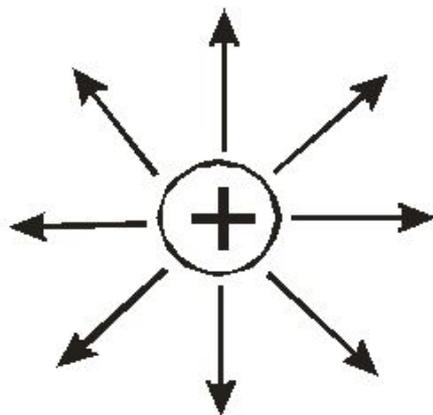
ИЛИ

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}\varphi} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k} \right)$$

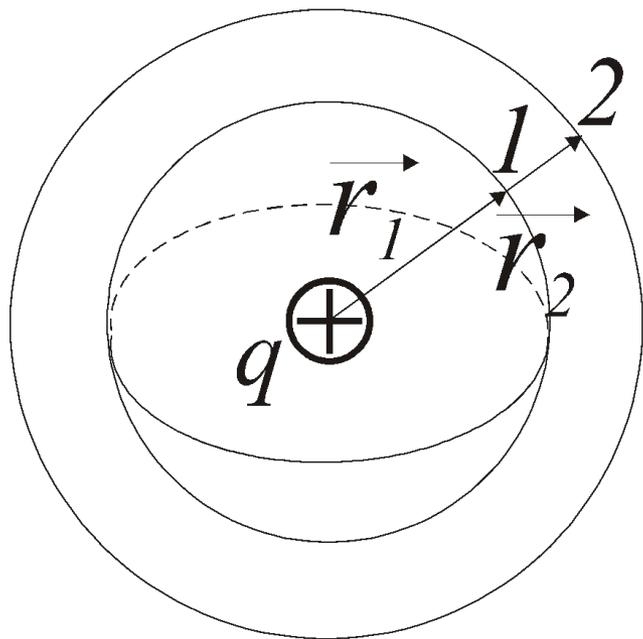
Направление вектора напряженности и силовых линий



Силовые линии
однородного поля



Использование взаимосвязи характеристик для ЭП сферической симметрии



$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dr} \vec{n}$$

$$d\varphi = -E dr$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \int_{r_1}^{r_2} d\varphi = -\int_{r_1}^{r_2} E dr$$

Принцип суперпозиции ЭП

(или наложения силовых полей) – действие результирующего поля, создаваемого несколькими источниками, есть определенная сумма действий отдельных полей, создаваемых каждым из источников в отдельности:

- напряженность результирующего силового поля есть векторная сумма напряженностей полей, создаваемых каждым из источников в отдельности, как если бы других полей и источников не существовало;

- потенциал результирующего силового поля есть алгебраическая сумма потенциалов полей, создаваемых каждым из источников в отдельности, как если бы других полей и источников не существовало.

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

$$\varphi = \sum_i \varphi_i$$



Благодарю за внимание