

ТЕМА 6: ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатикой называется раздел физики, изучающий взаимодействие неподвижных зарядов и характеристики их электрических полей.

Электрическим полем называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека и оказывающий силовое воздействие на неподвижные и движущиеся электрически заряженные частицы и тела.

Электрическим зарядом называется физическая величина, определяющая силу электромагнитного взаимодействия.

Точечным называется заряд, размером и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

В природе существует два типа электрических зарядов: положительные и отрицательные.

Наблюдения показывают, что одноимённые заряды отталкиваются, разноимённые – притягиваются.



Электрический заряд любого тела дискретен, то есть составляет целое кратное от элементарного электрического заряда $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, то есть $q = N \cdot e$.

Электрически изолированной называется система, которая не обменивается с внешними телами электрическим зарядом.

Для такой системы справедлив **закон сохранения электрического заряда**:

Алгебраическая сумма электрических зарядов электрически изолированной системы не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе, то есть

$$\sum q_i = \text{const} \quad \text{или} \quad \left(\sum q_i \right)_{\text{начальное}} = \left(\sum q_i \right)_{\text{конечное}}$$

Основные характеристики электростатического поля

Электростатическим называется электрическое поле, характеристики которого не изменяются с течением времени (такое поле создаётся неподвижными электрическими зарядами).

Силовой характеристикой электрического поля является **напряжённость** \vec{E}

Напряжённостью \vec{E} электрического поля называется векторная величина, равная отношению силы $\vec{F}_{ЭП}$, действующей со стороны электрического поля на точечный заряд q в данной точке поля, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{ЭП}}{q}, \quad [E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \equiv \frac{\text{В}}{\text{м}}, \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что $\vec{F}_{ЭП} = q\vec{E}$ - сила, действующая на заряд q в данной точке поля.

Энергетической характеристикой электростатического поля является **потенциал** ϕ .

Потенциалом ϕ называется скалярная величина, равная отношению потенциальной энергии $E_{П}$ произвольного точечного заряда q в данной точке электрического поля, к величине этого заряда.

$$\phi = \frac{E_{П}}{q} \quad (2), \quad [\phi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}, \text{ Вольт}$$

Из уравнения (2) следует, что $E_{П} = q\phi$ - потенциальная энергия заряда q в данной точке поля.

Графическое изображение электростатического поля

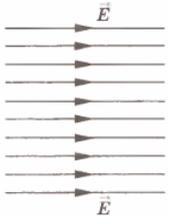
Электростатические поля можно изображать с помощью *силовых линий* и с помощью *эквипотенциалей*.

Силовой линией электрического поля называется линия, касательная в каждой точке которой совпадает по направлению с вектором \vec{E} в данной точке поля.

(за направление вектора \vec{E} приняли направление, совпадающее с вектором силы \vec{F} , действующей на положительный точечный заряд в данной точке поля).



Эквипотенциалью называется геометрическое место точек с одинаковым потенциалом ϕ .



Однородным называется электростатическое поле, в каждой точке которого вектор напряжённости \vec{E} имеет одну и ту же величину и направление.

Графически однородное поле изображается параллельными силовыми линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

Закон Кулона

(позволяет определить силу электростатического взаимодействия двух точечных зарядов)

Закон Кулона:

Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, и направлена по прямой, соединяющей заряды.

$$F_{\text{кул}} = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$$

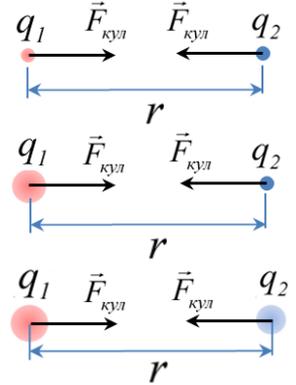
где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ - электрическая постоянная,

$$\epsilon = \frac{F_{\text{в.вакууме}}}{F_{\text{в.веществе}}} = \frac{E_{\text{в.вакууме}}}{E_{\text{в.веществе}}} - \text{диэлектрическая проницаемость среды.}$$

ϵ (эпсилон) величина безразмерная

(физический смысл ϵ : она показывает, во сколько раз вещество ослабляет внешнее электрическое поле по сравнению с вакуумом).

q_1 и q_2 - точечные заряды, Кл - Кулон, r - расстояние между зарядами, м. Для вакуума и воздуха $\epsilon = 1$

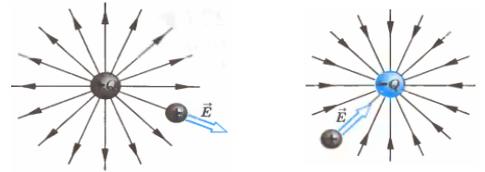


Напряжённость электрического поля точечного заряда

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2},$$

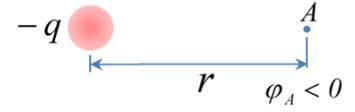
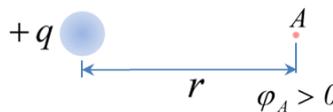
где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды;

q - точечный заряд, Кл; r - расстояние от заряда до рассматриваемой точки, м



Потенциал электрического поля точечного заряда

$$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$$



где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; q - точечный заряд, Кл;

r - расстояние от заряда до рассматриваемой точки, м

Принцип суперпозиции для электростатического поля

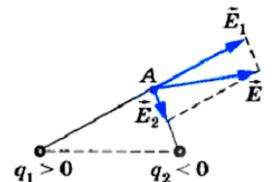
(позволяет рассчитать характеристики электростатического поля, создаваемого системой точечных зарядов)

Принцип суперпозиции:

Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, то результирующая напряжённость поля в этой точке равна векторной сумме напряжённостей полей, создаваемых каждой из частиц.

$$\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i$$

$$\varphi_{\text{рез}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum \varphi_i$$



Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух точечных зарядов.

$$\Pi = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r},$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; q_1 и q_2 - точечные заряды, Кл;

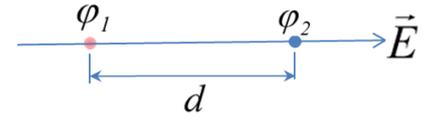
ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; r - расстояние между зарядами, м



Связь между модулем напряжённости однородного электростатического поля и разностью потенциалов

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов между двумя точками, B ;
 d - расстояние между этими точками, M .



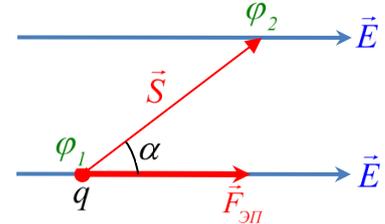
Работа сил электростатического поля по перемещению точечного заряда.

$$A_{\text{эл}} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$A_{\text{эл}} = -(E_{\text{пл}2} - E_{\text{пл}1}),$$

$$A_{\text{эл}} = F_{\text{эл}} S \cos \alpha,$$

где φ_1 и φ_2 - потенциал электрического поля в начальной и конечной точках траектории, $[B]$,



$E_{\text{пл}1}$ и $E_{\text{пл}2}$ - потенциальная энергия заряда в начальной и конечной точках траектории, $Дж$,

\vec{S} - вектор перемещения точечного заряда, m ; \vec{E} - вектор напряжённости электрического поля, $\frac{B}{m}$

$\cos \alpha$ - угол между векторами \vec{E} и \vec{S} .

Конденсаторы

(это устройства для накопления электрического заряда)

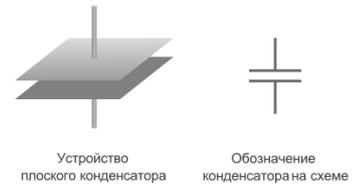
Ёмкостью (или электроёмкостью) конденсатора C называется скалярная величина, равная отношению заряда положительной обкладки конденсатора q к разности потенциалов U между положительной и отрицательной обкладками.)

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U},$$

где C - ёмкость конденсатора, Φ , Фарад,

q - заряд конденсатора (он равен заряду положительной обкладки конденсатора), $Кл$, Кулон,

$\varphi_1 - \varphi_2 = U$ - напряжение на конденсаторе, B , Вольт



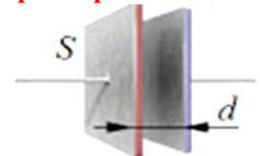
Зависимость ёмкости плоского конденсатора от его геометрических размеров

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d},$$

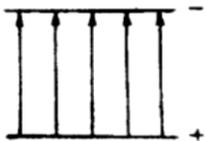
где S - площадь одной пластины (обкладки) конденсатора, m^2 ,

d - расстояние между пластинами конденсатора, m .

ϵ - диэлектрическая проницаемость вещества, расположенного между обкладками конденсатора.



Особенность электрического поля плоского конденсатора



Поле плоского конденсатора

- поле однородно (краевыми эффектами обычно пренебрегают),

- напряжённость поля внутри конденсатора можно определить по формуле:

$$E = \frac{U}{d},$$

где U - напряжение на конденсаторе, B .

Энергия электрического поля конденсатора

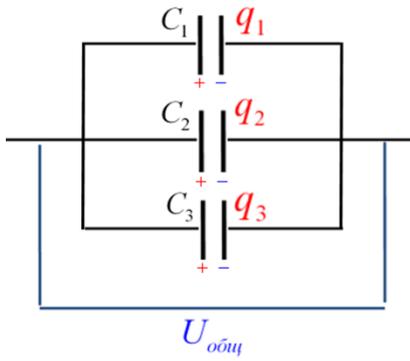
$$W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

где $[W_{\text{эл}}] = Дж$ - энергия электрического поля конденсатора, $[C] = \Phi$ - ёмкость конденсатора,

$[q] = Кл$ - заряд конденсатора, U - напряжение на конденсаторе, B .

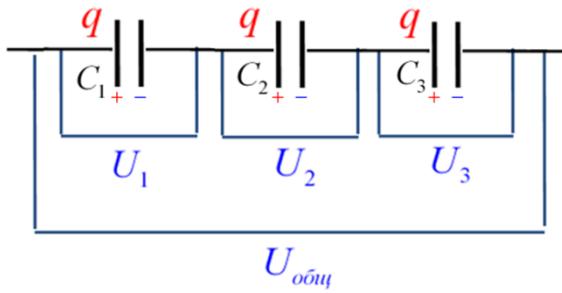
Виды соединения конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов



$$\begin{cases} C_{общ} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \\ U_{общ} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \\ q_{общ} = q_1 + q_2 + \dots + q_n \\ C_i = \frac{q_i}{U_i} \quad C_{общ} = \frac{q_{общ}}{U_{общ}} \end{cases}$$

Последовательное соединение конденсаторов



$$\begin{cases} \frac{1}{C_{общ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \\ U_{общ} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ q_{общ} = q_1 = q_2 = \dots = q_n \\ C_i = \frac{q_i}{U_i} \quad C_{общ} = \frac{q_{общ}}{U_{общ}} \end{cases}$$