

## Электростатика

**Электростатика** – раздел электродинамики, изучающий покоящиеся электрически заряженные тела.

Существует два вида электрических зарядов: **положительные** (стекло о шелк) и **отрицательные** (эбонит о шерсть)

разноименные заряды



одноименные заряды



**элементарный заряд** – минимальный заряд ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл)

Заряд любого тела кратен целому числу элементарных зарядов:  $q = N \cdot e$

**Электризация тел** – перераспределение заряда между телами.

**Способы электризации:** трение, касание, влияние.

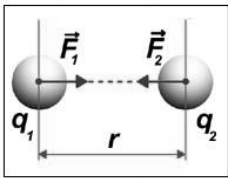
**Закон сохранения электрического заряда** – в замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

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

**Пробный заряд** – точечный положительный заряд.

**Закон Кулона** (установлен опытным путем в 1785 году)

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.



$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2} \quad \vec{F}_1 = - \vec{F}_2 \quad \text{по 3-му закону Ньютона}$$

$q_1$  и  $q_2$  - заряды;  $R$  - расстояние между зарядами;

$k$  - коэффициент пропорциональности, равный силе взаимодействия единичных зарядов на расстоянии, равном единице длины.

В СИ:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ ;  $\epsilon_0$  - электрическая постоянная;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$

**Закон Кулона в диэлектрической среде:**

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon R^2}$$

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, характеризующая свойства среды. В вакууме  $\epsilon = 1$ , в воздухе  $\epsilon \approx 1$

**Электрическое поле** – вид материи, осуществляющий взаимодействие между электрическими зарядами, возникает вокруг зарядов, действует только на заряды.

### Характеристики электрического поля

**силовая (напряженность  $\vec{E}$ )**

**энергетическая (потенциал  $\phi$ )**

Напряжённость - векторная физическая величина, равная отношению силы  $F$ , с которой электрическое поле действует на пробный точечный заряд  $q$ , к значению этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|}, \quad [E] = \text{Н/Кл} = \text{В/м}$$

**Направление вектора напряженности** совпадает с направлением вектора силы, действующей **на положительный заряд**, и противоположно направлению силы, действующий на отрицательный заряд.

Потенциал электростатического поля - отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду

$$\phi = \frac{W_i}{q}, \quad [\phi] = \text{Дж/Кл} = 1 \text{ В}$$

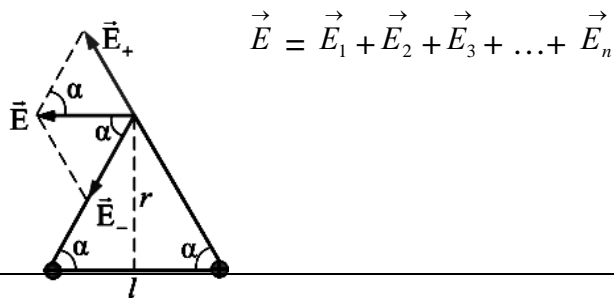
$\phi$  - скалярная величина, определяющая потенциальную энергию заряда в любой точке эл. поля.

$$W_n = qEd; \quad \phi = Ed$$

$W_n$ ;  $\phi$  – зависят от выбора нулевого уровня

## Принцип суперпозиции полей

Если в данной точке пространства различные заряды создают электрические поля напряженности, которых  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3 \dots$  и т.д., то результирующая напряженность поля в этой точке равна векторной сумме напряженностей отдельных полей.



Если в данной точке пространства различные заряды создают электрические поля потенциалы, которых  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  и т.д., то результирующий потенциал в этой точке равен алгебраической сумме потенциалов всех полей.

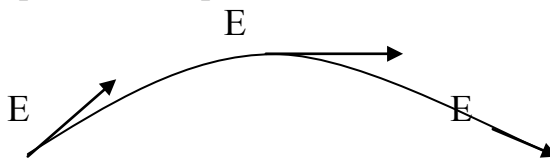
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

(знак потенциала определяется знаком заряда:  $q > 0, \varphi > 0$ ;  $q < 0, \varphi < 0$ )

**Силовые линии напряженности электрического поля** – непрерывные линии, касательные к которым в каждой точке, через которые они проходят, совпадают с вектором напряженности.

**Свойства силовых линий:**

- не замкнуты;
- не пересекаются;
- непрерывны;
- направление совпадает с направлением вектора напряженности;
- начало на  $+q$  или в бесконечности, конец на  $-q$  или в бесконечности;
- гуще вблизи зарядов (где больше напряженности).
- перпендикулярны поверхности проводника



### Поле точечного заряда

Модуль напряженности.		Потенциал.
$E = k \cdot \frac{ q }{\epsilon R^2}$		$\varphi = \pm k \cdot \frac{q}{\epsilon R}$

### Поле равномерно заряженной сферы.

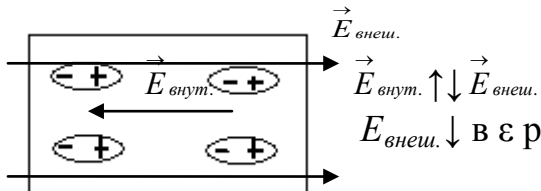
(R – радиус сферы; r – расстояние от центра сферы до точки поля)

	модуль напряженности	потенциал
внутри сферы ( $r < R$ )	$E = 0$	$\varphi = \pm k \cdot \frac{q}{R}$
на поверхности сферы ( $r = R$ )	$E = k \cdot \frac{ q }{R^2}$	$\varphi = \pm k \cdot \frac{q}{R}$
вне сферы ( $r > R$ )	$E = k \cdot \frac{ q }{r^2} = k \cdot \frac{ q }{(R+a)^2},$ где $a$ – расстояние от поверхности шара до точки поля	$\varphi = \pm k \cdot \frac{q}{r} = k \cdot \frac{q}{(R+a)}$

## Поле внутри вещества

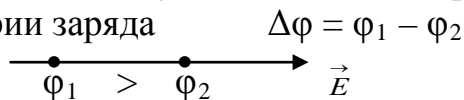
← **проводники**

**диэлектрики** →

<p><math>q</math> на поверхности</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px 0;"> <math>E_{\text{резул}} = 0</math>              Внутри поля нет!         </div> <p>→ Напряженность электростатического поля в металле равняется нулю, так как поле свободных зарядов, существующих в нем, через достаточно короткий промежуток времени уравнивает внешнее поле и ток в металле будет равен нулю.</p> <p><b>Внутри проводника поля нет!!!</b> (электростатическая защита)</p>	 <p>→ Напряженность поля в диэлектрике меньше, чем в вакууме из-за явления поляризации и, следовательно, густота силовых линий в диэлектрике меньше. Отношение напряженности поля в вакууме к напряженности в данной среде называют диэлектрической проницаемостью вещества.</p> $\epsilon = \frac{E_{\text{вакуум}}}{E}$
--	---

**Разность потенциалов или напряжение ( $\Delta\phi$  или  $U$ )** - это разность потенциалов в начальной и конечной точках траектории заряда

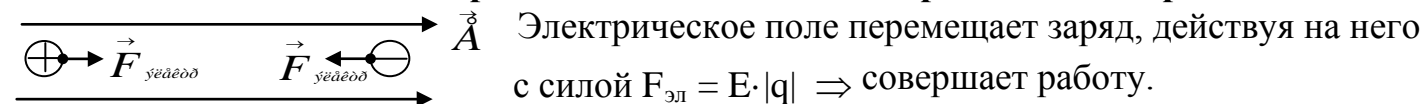
$$\phi_1 - \phi_2 = U = \frac{A}{q} \quad [U] = \text{В}$$



Чем меньше меняется потенциал на отрезке пути, тем меньше напряженность поля. Напряженность электрического поля направлена в сторону уменьшения потенциала.

**Связь между напряжённостью поля и разностью потенциалов:**  $E = \frac{U}{d} = \frac{\Delta\phi}{d}$

### Работа электростатического поля по перемещению заряда.



Электрическое поле вызывает **ускоренное прямолинейное движение** заряда  $\Rightarrow$  изменяет его кинетическую или потенциальную энергию

$$A = F s = q E \cdot \Delta d \quad A = q(\phi_1 - \phi_2) = q \cdot \Delta \phi = q U$$

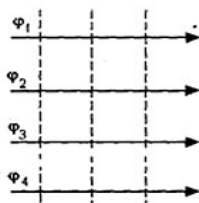
$$A = -\Delta W_{\text{п}} = -(W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1}) \quad A = \Delta W_{\text{к}} = W_{\text{к}2} - W_{\text{к}1}$$

- Если поле совершает положительную работу (вдоль силовых линий), то потенциальная энергия заряженного тела уменьшается (согласно закону сохранения энергии увеличивается кинетическая энергия и наоборот).

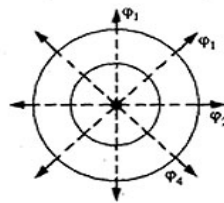
- Работа поля (электрической силы) **не зависит** от формы траектории и на замкнутой траектории равна нулю.

**Эквипотенциальные поверхности** - поверхности, все точки которых имеют одинаковый потенциал

для однородного поля  
- плоскость



ЭПП перпендикулярны силовым линиям:  
 $\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi_4$ .

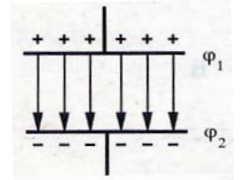


для поля точечного заряда -  
концентрические сферы

Эквипотенциальная поверхность имеется у **любого проводника** в электростатическом поле, т.к. силовые линии перпендикулярны поверхности проводника. Все точки внутри проводника имеют одинаковый потенциал ( $\Delta\phi = 0$ ). Напряженность внутри проводника  $E=0$ , значит и разность потенциалов внутри  $\Delta\phi = 0$ .

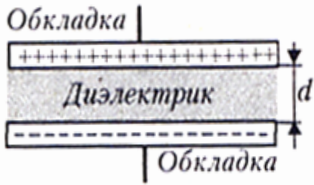
**Емкость С** - характеризует способность проводника накапливать электрический заряд на своей поверхности.

- не зависит от электрического заряда и напряжения.
- зависит от геометрических размеров проводников, их формы, взаимного расположения, электрических свойств среды между проводниками.



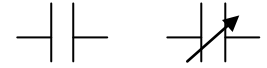
$$C = \frac{|q|}{U} = \text{const} \quad [C] = \Phi \text{ (Фарад)}$$

**Конденсатор** - электротехническое устройство, служащее для быстрого накопления электрического заряда и быстрой отдачи его в цепь (два проводника, разделенных слоем диэлектрика).



где d много меньше размеров проводника.

Обозначение на электрических схемах:



Все электрическое поле сосредоточено внутри конденсатора. Заряд конденсатора - это абсолютное значение заряда одной из обкладок конденсатора.

**Виды конденсаторов:**

1. по виду диэлектрика: воздушные, слюдяные, керамические, электролитические
2. по форме обкладок: плоские, сферические, цилиндрические
3. по величине емкости: постоянные, переменные (подстроечные).

Тип конденсатора	Схематическое изображение	Формула для расчета емкости	Примечания
Плоский конденсатор		$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$	S - площадь пластины; d - расстояние между пластинами.

**Виды соединений конденсаторов**

параллельное

$$C = C_1 + C_2$$

$$q = q_1 + q_2$$

$$U = U_1 = U_2$$

последовательное

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$q = q_1 = q_2 = \text{const}$$

$$U = U_1 + U_2$$

Конденсатор подключён к источнику тока	Конденсатор заряжен и отключён от источника тока
<p><math>U_{\text{ист.}} = U_c</math> Если менять d, S, <math>\epsilon</math> то <math>U = \text{const}</math>, а C и q меняются!</p>	<p><math>q = \text{const}</math> C и U меняются!</p>

**Энергия заряженного конденсатора**  $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}$  Энергия конденсатора равна работе, которую совершит электрическое поле при сближении пластин конденсатора вплотную, или равна работе по разделению положительных и отрицательных зарядов, необходимой при зарядке конденсатора.