

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.

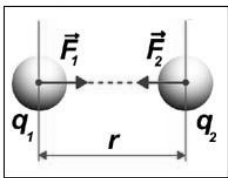
Закон сохранения электрического заряда – в замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

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

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: $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$; ϵ_0 - электрическая постоянная; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$

Закон Кулона в диэлектрической среде:

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

ϵ - 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 ϕ)**

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

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

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

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

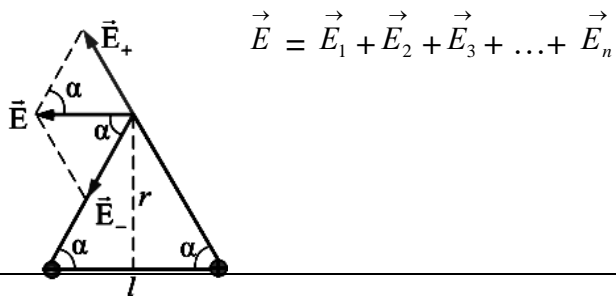
ϕ - скалярная величина, определяющая потенциальную энергию заряда в любой точке эл. поля.

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

W_n ; ϕ – 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.

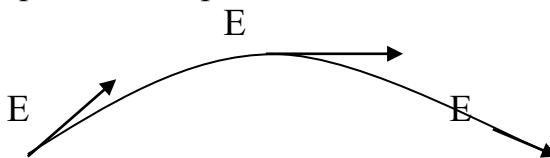
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

(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.

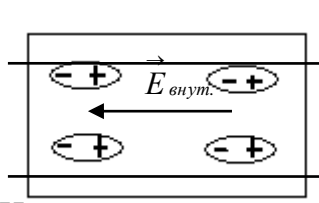
(R – радиус сферы; r – расстояние от центра сферы до точки поля)

| | 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

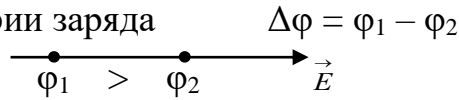
← проводники

диэлектрики →

| | |
|---|--|
| <p>q на поверхности</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">$E_{резул} = 0$</p> <p style="text-align: center;">Внутри поля нет!</p> </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>Внутри проводника поля нет!!! (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> $\epsilon = \frac{E_{вакуум}}{E}$ |
|---|--|

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

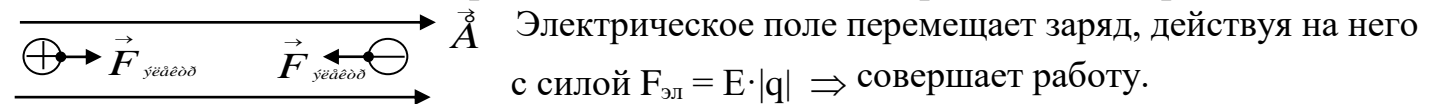
$$\phi_1 - \phi_2 = U = \frac{A}{q} \quad [U] = \text{В}$$



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

$$A = Fs = qE \cdot \Delta d \quad A = q(\phi_1 - \phi_2) = q \cdot \Delta\phi = qU$$

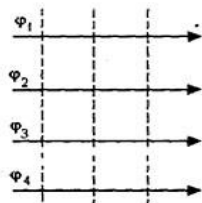
$$A = -\Delta W_{п} = -(W_{п2} - W_{п1}) \quad A = \Delta W_{к} = W_{к2} - W_{к1}$$

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

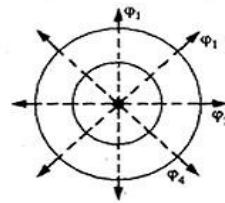
- Работа поля (электрической силы) **не зависит** от формы траектории и на замкнутой траектории равна нулю.

Эквипотенциальные поверхности - поверхности, все точки которых имеют одинаковый потенциал

для однородного поля
- плоскость



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

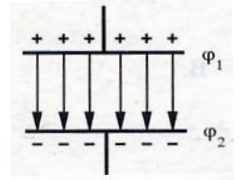


для поля точечного заряда -
концентрические сферы

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 $\Delta\phi = 0$.

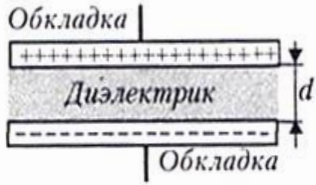
Емкость С - характеризует способность проводника накапливать электрический заряд на своей поверхности.

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



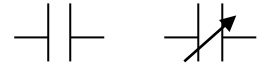
$$C = \frac{|q|}{U} = \text{const} \quad [C] = \Phi \text{ (Фарад)}$$

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>$U_{\text{ист.}} = U_c$ Если менять d, S, ϵ то $U = \text{const}$, а C и q меняются!</p> | <p>$q = \text{const}$ 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.