

VI. Электростатика

1. Закон Кулона

Сила электростатического взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2

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

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная

r — расстояние между зарядами q_1 и q_2

Точечными считаются заряженные тела, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.

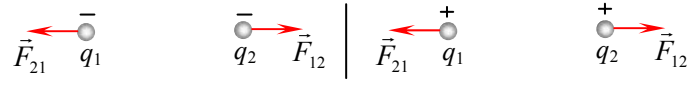
ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды q_1 и q_2 (полагается, что среда — безграничный, однородный диэлектрик)

$$\epsilon_{\text{возд}} \approx \epsilon_{\text{вакуума}} = 1$$

Заряды противоположных знаков ("разноименные") притягиваются друг к другу:



Заряды одинаковых знаков ("одноименные") отталкиваются друг от друга:



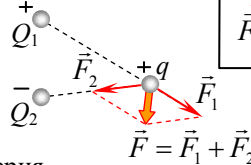
2. Принцип суперпозиции

Если на заряд q действуют несколько зарядов $Q_1, Q_2, \dots$, то:

$$\vec{F}_{\text{на } q} = \vec{F}_{\text{на } q}(Q_1) + \vec{F}_{\text{на } q}(Q_2) + \dots$$

Сила, действующая на заряд q со стороны системы зарядов $Q_1, Q_2, \dots$

Сила, которая действовала бы на заряд q со стороны заряда Q_1 , в отсутствие остальных зарядов $Q_2, Q_3, \dots$



3. Электрическое поле

— особая материя, возникающая вокруг любых электрических зарядов и действующая электрической силой на любые электрические заряды, попавшие в это поле.

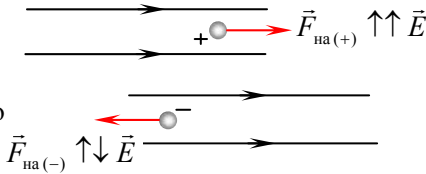
Характеристики электрического поля

$\vec{E}$ — напряженность электрического поля — силовая характеристика поля. Напряженность численно равна силе, которая действовала бы на единицу пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$\vec{F}_{\text{эл на } q} = q\vec{E}$$

Электрическая сила, действующая на точечный заряд q со стороны электрического поля.

Напряженность электрического поля, создаваемого в той точке, где находится заряд q , всеми остальными зарядами (кроме q).



ϕ — потенциал электрического поля — энергетическая характеристика поля. Потенциал численно равен потенциальной энергии, которую имела бы единица пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

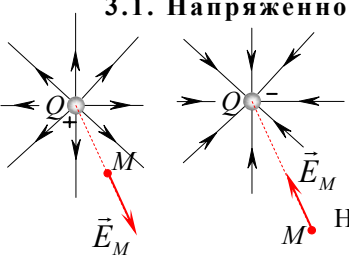
$$W = q \cdot \phi \Rightarrow$$

Потенциальная энергия заряда q , который находится в точке, где все остальные заряды (кроме q) создают потенциал ϕ .

$$A_{1-2}^{\text{эл. над } q} = q(\phi_1 - \phi_2)$$

Работа электрических сил над зарядом q при его перемещении из точки с потенциалом ϕ_1 в точку с потенциалом ϕ_2 . (потенциалы ϕ_1 и ϕ_2 создаются всеми зарядами, кроме q)

3.1. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного одним точечным зарядом Q



$$E_M = k \frac{|Q|}{\epsilon r_M^2}$$

Напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q .

$\vec{E}$ направлен от "+" зарядов к "-" зарядам

$$\phi_M = k \frac{Q}{\epsilon r_M}$$

$\phi = 0$ на ∞

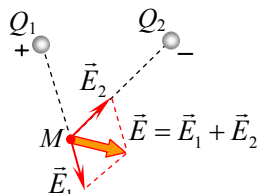
Потенциал электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q .

3.2. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов $Q_1, Q_2, \dots$

$$\vec{E}_M = \vec{E}_M(Q_1) + \vec{E}_M(Q_2) + \dots$$

Напряженность электрического поля, созданного системой точечных зарядов $Q_1, Q_2, \dots$ в точке M

Напряженность электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 , в отсутствие остальных зарядов $Q_2, Q_3, \dots$

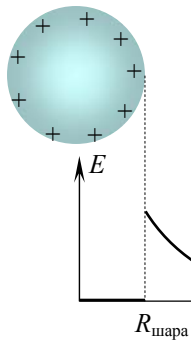


$$\phi_M = \phi_M(Q_1) + \phi_M(Q_2) + \dots$$

Потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов $Q_1, Q_2, \dots$ в точке M

Потенциал электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 , в отсутствие остальных зарядов $Q_2, Q_3, \dots$

3.3. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного равномерно заряженным по поверхности шаром



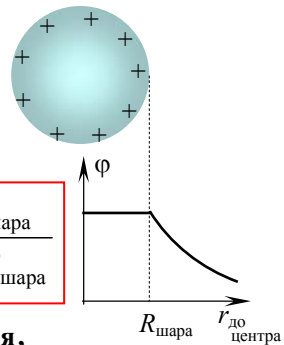
$$E_{\text{вне шара}} = k \frac{|Q_{\text{шара}}|}{\epsilon r^2_{\text{до центра шара}}}$$

$$E_{\text{внутри шара}} = 0$$

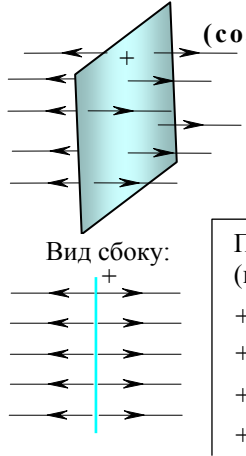
$$\varphi_{\text{вне шара}} = k \frac{Q_{\text{шара}}}{\epsilon r_{\text{до центра шара}}}$$

$$\varphi = 0 \text{ на } \infty$$

$$\varphi_{\text{внутри шара}} = \varphi_{\text{поверхн шара}} = \varphi_{\text{шара}} = k \frac{Q_{\text{шара}}}{\epsilon R_{\text{шара}}}$$



3.4. Напряженность и потенциал однородного электрического поля, (созданного равномерно заряженной плоскостью или плоским конденсатором)



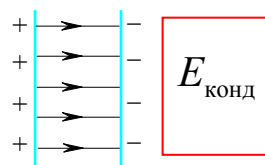
$$E_{\text{плоск}} = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0\epsilon}$$

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

Поверхностная плотность заряда

$$E_{\text{конд}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}$$

Плоский конденсатор (вид сбоку в разрезе)



Для любого однородного электрического поля:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \vec{E} \cdot \Delta \vec{r}_{1-2} = E \cdot |\Delta \vec{r}_{1-2}| \cdot \cos \alpha = E_x \cdot \Delta x$$

Напряжение (разность потенциалов) между точками 1 и 2 в однородном электрическом поле.

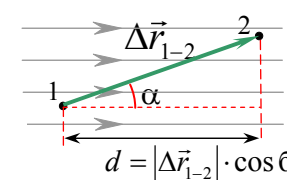
Вектор, проведенный из точки 1 в точку 2.

При $\vec{E} \parallel OX$ или $\Delta \vec{r}_{1-2} \parallel OX$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_x(x_2 - x_1)$$

$$U = E \cdot d$$

d — проекция вектора $\Delta \vec{r}_{1-2}$ на силовую линию.



4. Потенциальная энергия системы электрических зарядов

$$W_{\text{сист}} = W_{\text{внеш}} + W_{\text{взаим}}$$

Энергия взаимодействия зарядов системы с внешним электрическим полем

$$W_{\text{внеш}} = q_1 \varphi_1^{\text{внеш}} + q_2 \varphi_2^{\text{внеш}} + \dots$$

$\varphi_i^{\text{внеш}}$ — потенциал внешнего электрического поля в той точке, где расположен заряд q_i .

Энергия взаимодействия зарядов системы друг с другом:

для системы из трех зарядов q_1, q_2 и q_3

$$W_{123}^{\text{вз}} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r_{12}} + k \frac{q_1 \cdot q_3}{\epsilon r_{13}} + k \frac{q_2 \cdot q_3}{\epsilon r_{23}}$$

$$W_{12}^{\text{вз}} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r_{12}}$$

для системы из двух зарядов q_1 и q_2

$$W_{\text{вз}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i^{\text{собст}}$$

$\varphi_i^{\text{собст}}$ — потенциал, создаваемый всеми зарядами системы, кроме q_i , в точке, где находится заряд q_i .

5. Емкость

Емкость уединенного проводника

$$C_{\text{пров}} = \frac{q}{\varphi}$$

заряд проводника

потенциал проводника относительно бесконечности

Заряд конденсатора (заряд его "+" - пластины)

$$C_{\text{конд}} = \frac{q}{U} = \frac{q_1}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

Заряд пластины "1"

Разность потенциалов между пластинами "1" и "2"

$$C_{\text{плоского конденсатора}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

Диэлектрическая проницаемость вещества между пластинами

Площадь пластины конденсатора

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

Энергия электрического поля конденсатора

Емкость конденсатора

Напряжение на конденсаторе (разность потенциалов между "+" и "-" пластинами)

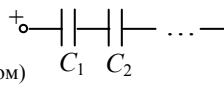
$$U = E \cdot d$$

расстояние между пластинами конденсатора

Напряженность электрического поля между пластинами конденсатора

Параллельное соединение конденсаторов

(каждый конденсатор соединен одной пластиной с "+"-выходом системы, а другой пластиной с "-"-выходом)



Последовательное соединение конденсаторов (каждый конденсатор соединен одной пластиной с предыдущим, а другой пластиной с последующим конденсатором без ответвлений)

$$C_{\text{пар общ}} = C_1 + C_2 + \dots$$

$$U_{\text{пар общ}} = U_1 = U_2 = \dots$$

$$q_{\text{пар общ}} = q_1 + q_2 + \dots$$

Напряжение между выходами системы

Заряд проводника, соединенного с "+"-выходом системы

$$U_{\text{посл общ}} = U_1 + U_2 + \dots$$

$$q_{\text{посл общ}} = q_1 = q_2 = \dots$$

$$\frac{1}{C_{\text{посл общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

Общая емкость системы конденсаторов — емкость такого одного конденсатора, при включении которого вместо всей системы не изменятся напряжение между выходами ($U_{\text{общ}}$) и общий заряд $q_{\text{общ}}$

6. Свойства проводника в электрическом поле

$$\vec{E}_{\text{внутри проводника}} = 0$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_{\text{проводника}}$$

Силовые линии входят в проводник и выходят из него перпендикулярно поверхности

Если в проводнике нет тока

Если проводник заряжен, то заряд распределен в бесконечно тонком слое на поверхности проводника. (σ максимальна на выпуклостях, особенно на остриях, и минимальна на вогнутых участках поверхности)