

- ① **Электрический заряд (q)** определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий.

Два знака электрических зарядов
электрон e ($-$) протон p ($+$)



Элементарный (минимальный) электрический заряд: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

- ② **Электризация тел** – сообщение телу q .

Способы электризации:
трение, соприкосновение, удар



- ③ **Закон сохранения электрического заряда**



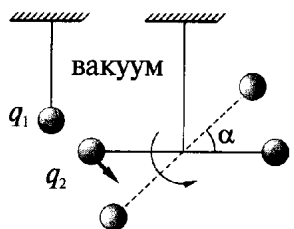
В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

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

- ④ **Закон Кулона** (установлен опытным путем в 1785 г.)

Точечный заряд – заряженное тело, размерами которого можно пренебречь в данных условиях.

Опыт Кулона (крутильные весы)



$$\left. \begin{aligned} F &\sim q_1 \\ F &\sim q_2 \\ F &\sim \frac{1}{r^2} \end{aligned} \right\}$$

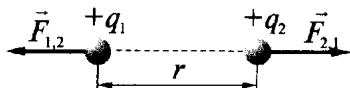
$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Закон Кулона

если $q_1 = q_2 = 1$ Кл и $r = 1$ м,
то $F = 9 \cdot 10^9$ Н
 $\downarrow$
 $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл²



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



$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ силы центральные
по третьему закону Ньютона

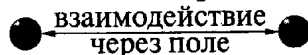
СИ: $[q] = [1 \text{ Кл}]$

1 Кл – заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.

①

Близкодействие и действие на расстоянии

распространяется
с конечной скоростью
взаимодействие
через поле

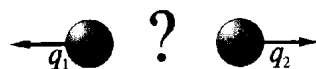


распространяется
мгновенно
взаимодействие
через пустоту



②

Электрическое поле


Близкодействие

идея: М. Фарадей (англ.)
теория: Дж. Максвелл (англ.)
 $q_1 \leftrightarrow$ электрическое поле $\leftrightarrow q_2$

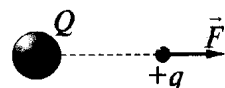
$t = \frac{r}{c}$ t – время передачи электромагнитных взаимодействий
 r – расстояние между зарядами
 c – скорость распространения электромагнитных взаимодействий (300 000 км/с)

Электрическое поле:

- **материально**: существует независимо от нас и наших знаний о нём (радиоволны)
- **создается зарядами**
- главное свойство: **действует на q с некоторой F**

③

Напряженность электрического поля (E) – силовая характеристика.



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|}$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{E} \uparrow \vec{F}_+$$

$$[E] = [1 \text{ Н/Кл}] = [1 \text{ В/м}]$$

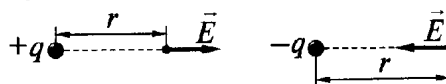
Напряженность поля равна отношению силы, с которой поле действует на точечный заряд, к модулю этого заряда.

$$E_r = \frac{F}{|q|}$$

$$F = k \frac{|q_0||q|}{r^2}$$

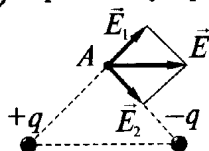
$$E_r = k \frac{|q_0|}{r^2}$$

 E_r – напряженность поля точечного q_0



④

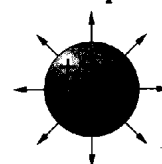
Принцип суперпозиции полей



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

⑤

Поле заряженного шара



$$E_{\text{ш}} = k \frac{|Q|}{r^2}$$

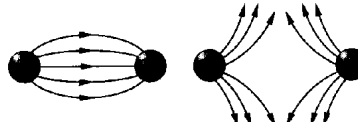
$$r \geq R_{\text{ш}}$$

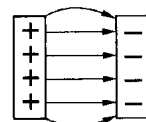
Внутри шара $E=0$

⑥

Силовые линии (СЛ – линии напряженности) электрического поля – непрерывные линии, касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают с $\vec{E}$.

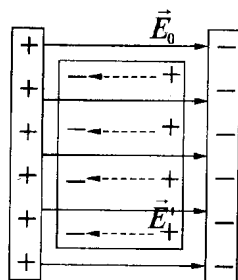






$\vec{E} = \text{const}$
однородн.
эл. поле

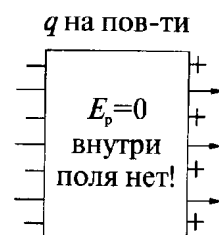
Силовые линии: не замкнуты; не пересекаются; начало на $+q$; конец на $-q$; непрерывны; гуще, где E больше.

① Проводники в электростатическом поле (имеются свободные q — электроны).

На каждый e действует $F=eE_0 \rightarrow$ кратковр. I ,
пока $E_0 = -E'$.
(E_0 — напряженность внешнего поля
 E' — напряженность поля,
созданная перераспределением q)

электростатическая
защита

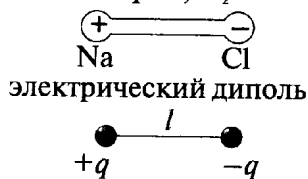
электростатическая
индукция

② Диэлектрики в электростатическом поле (имеются связанные q).

Диэлектрики

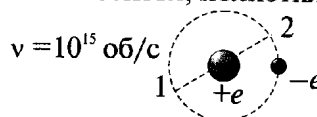
полярные

(центры распределения
 $+q$ и $-q$ не совпадают):
спирты, H_2O

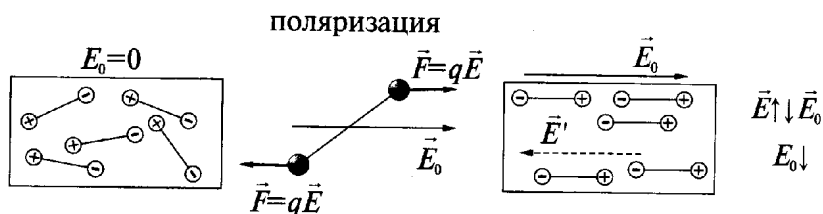


неполярные

(центры распределения
 $+q$ и $-q$ совпадают):
инертные газы, O_2 , H_2 ,
бензол, полиэтилен

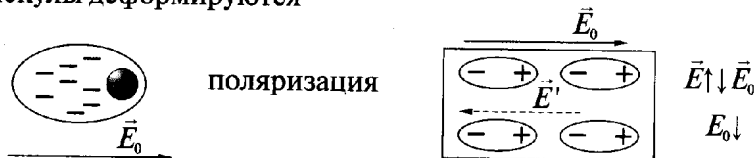


③ Поляризация полярных диэлектриков

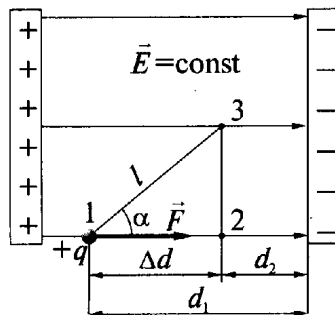


④ Поляризация неполярных диэлектриков

молекулы деформируются



① Работа сил электростатического поля



при перемещении $+q$ из 1 $\rightarrow$ 2:
 $A_{1,2} = F(d_1 - d_2)$ и $F = qE \rightarrow A_{1,2} = qE(d_1 - d_2)$
 $A_{2,3} = 0$
 $A_{1,2,3} = A_{1,2} + A_{2,3} = qE(d_1 - d_2) \rightarrow A_{1,2,3} = A_{1,3}$
 $A_{1,3} = qEl \cos \alpha = qE(d_1 - d_2) \rightarrow A_{1,2,3} = A_{1,3}$
 $A_{2,1} = -qE(d_1 - d_2) \rightarrow A_{1,2,1} = 0$

$A_{\text{эл. поля}}$ не зависит от формы траектории
 по замкнутому контуру $A_{\text{эл. поля}} = 0$.

Электростатическое поле –
 потенциальное.

② Потенциальная энергия

$$A = qE(d_1 - d_2) = -(qEd_2 - qEd_1)$$

По закону сохранения энергии:

$$A = -(W_{n2} - W_{n1}) = -\Delta W_n$$

$$W_n = qEd$$

потенциальная энергия
 заряда в точке поля

③ Потенциал (φ) – энергетическая характеристика поля.

$$\varphi = \frac{W_n}{q}$$

φ зависит от выбора, где $W_n = 0$ (пластина $-q$)

④ Разность потенциалов (напряжение)

$$A = -(W_{n2} - W_{n1}) = -(q\varphi_2 - q\varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

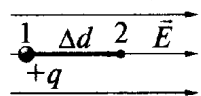
$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$$

Разность потенциалов (напряжение)
 не зависит от выбора, где $W_n = 0$

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками равна отношению работы поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную к этому заряду.

СИ: $[\varphi, U] = [1 \text{ В}] = [1 \text{ Дж/Кл}]$

$U = \varphi_1 - \varphi_2 = 1 \text{ В}$, если при перемещении $q = 1 \text{ Кл}$ из одной точки поля в другую электрическое поле совершает работу 1 Дж.

⑤ Связь между E и U 

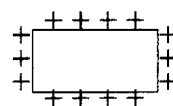
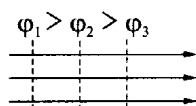
$$A_{1,2} = qE\Delta d \rightarrow E = \frac{U}{\Delta d}$$

$$A_{1,2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

$\vec{E}$ в сторону $\downarrow \varphi$
 $\varphi_1 < \varphi_2$

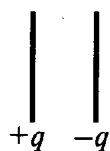
⑥ Эквипотенциальные поверхности (ЭПП) – поверхности равного φ .

Так как $\varphi_1 = \varphi_2 \rightarrow A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \rightarrow \cos \alpha = 0 \rightarrow \text{ЭПП} \perp \text{силовым линиям}$



Поверхность любого
 проводника – ЭПП

- ① **Емкость (C)** характеризует способность двух проводников накапливать электрический заряд.



$$C = \frac{q}{U}$$

C зависит от:

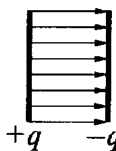
- геометрических размеров проводников
- формы проводников
- взаимного расположения проводников
- электрических свойств окружающей среды

C не зависит от q и U

СИ: $[C] = [1 \text{ Ф}] = [1 \text{ Кл/В}]$ $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$

Емкость двух проводников равна 1 Ф (фарад), если при сообщении им зарядов +1 Кл и -1 Кл между ними возникает разность потенциалов 1 В.

- ② **Конденсаторы** – два проводника (обкладки конденсатора), разделенные слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников.



$$C = \frac{q}{U}$$

q – заряд конденсатора

Конденсаторы

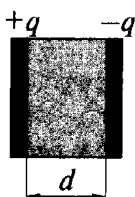
способны накапливать большой Q

C не зависит от соседства с другими телами (все поле внутри)

Типы конденсаторов: бумажные, электролитические, слюдяные, керамические...

Применение: лампа вспышка, лазеры, радиотехника...

- ③ **Емкость плоского конденсатора**



$$C \sim \begin{cases} \text{площади } S \text{ пластин} \\ \text{расстояния } \frac{1}{d} \text{ между пластинами} \\ \text{свойств диэлектрика между пластинами} \end{cases}$$

- ④ **Энергия заряженного конденсатора**

$$W_n = q \frac{E}{2} d = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

$U=Ed$ $q=CU$ $U=\frac{q}{C}$

- ⑤ **Энергия электрического поля**

$$W_p = \frac{CU^2}{2} \rightarrow W_p \sim E^2$$

$U=Ed$