

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

делится на 3 раздела:

- электростатику;
- электрический ток (постоянный и переменный);
- магнитное поле.

Электростатика

изучает статические (неподвижные) заряды и связанные с ними электрические поля.

1. Электрический заряд

Заряды q бывают 2-х знаков «+» и «-».

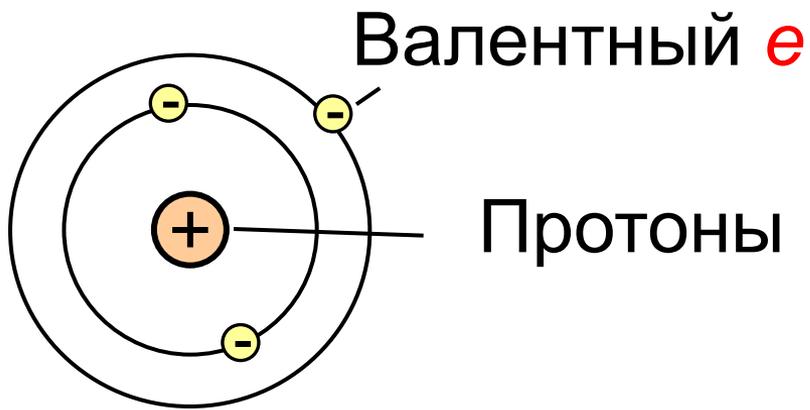
Опыт: q одного знака - отталкиваются,
разноименные - притягиваются.

Милликен, 1909 г. установил:

величина заряда q любого тела кратна e :

где e - заряд электрона,

$q = n e$ - целое число.



$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Носители **элементарного** заряда:

- электрон ($q = -e$),
- протон ($q = +e$).

Атом электр. нейтрален.

Валентные e слабо связаны с атомом и может быть **сравнительно легко** (трением) оторваны и перемещены на другое тело .

Тела с избытком e заряжены (-), с недостатком e — (+).

2. Закон сохранения зарядов

При электризации трением оба тела заряж-ся равными по величине, но разноименными зарядами $+q$ и $-q$.

При соприкосновении тел их заряды исчезают.

При этом суммарный q на телах не изменяется - происходит их перераспределение.

В замкнутой системе алгебр. сумма эл. зарядов остается постоянной.

$$\sum q_i = const$$

Закон сохранения
зарядов

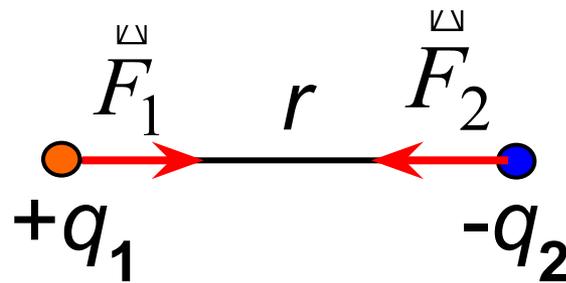
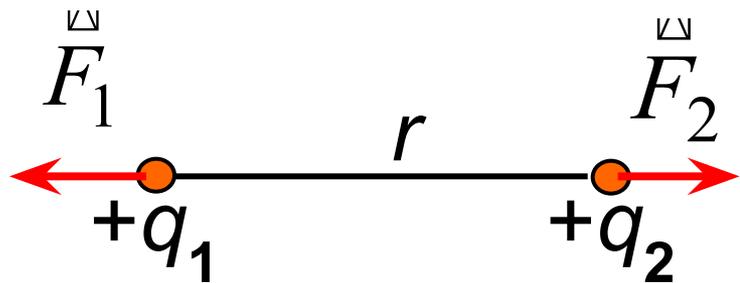
ЗСЗ – закон **фундаментальный**, он выпол-ся как для макро-, так и для микромира.

;

3. Закон Кулона

Точечный заряд (q) – заряженное тело, размеры которого малы по сравнению с расст. до других заряд. тел.

Кулон (Франция, 1784 г) на опыте определил силу взаимодействия точечных q .



$$\vec{F}_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Закон Кулона

Здесь:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$$

Электр.
постоянная.

\vec{F}_K - вектор **силы**, направлен вдоль прямой, соединяющей q .

- Обозначим:

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

Тогда:

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

Закон Кулона

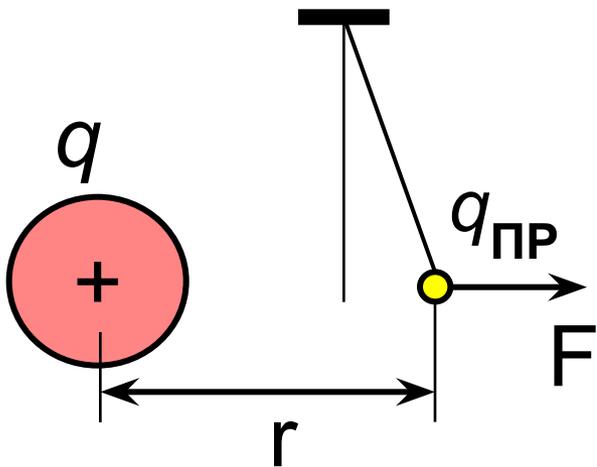
- Кулоновские силы велики.
- Так если в человеке e будет на 1% больше, то на расстоянии 1 шага от такого же человека возникнет сила отталкивания, равная весу Земли!

4. Напряженность эл. поля

Силовое действие q - на расстоянии.

Гипотеза: вокруг зар. тел существует электростатическое поле.

Величину эл. поля можно найти с помощью пробного заряда $+q_{пр}$ ($q_{пр} \ll q$).

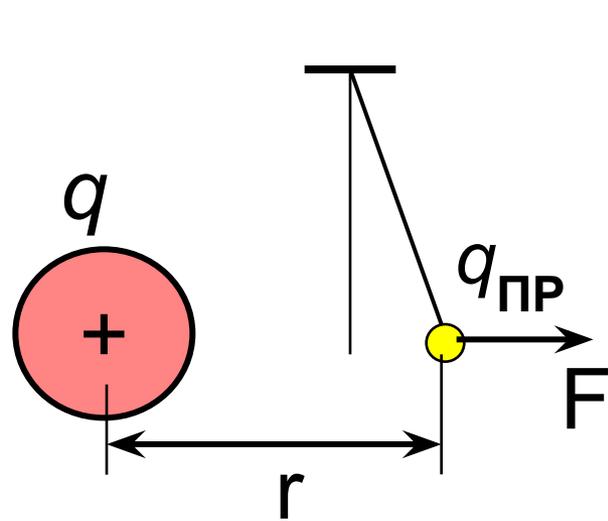


$$E = \frac{F}{q_{пр}}$$

$$F = k \cdot \frac{q \cdot q_{пр}}{r^2}$$

**Напряженность
эл. поля.**

Перенос рис.



$$F = k \cdot \frac{q \cdot q_{пр}}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_{пр}}$$

Напряженность
эл. поля.

E – силовая характеристика эл. поля и равна силе, действующей на ед. полож. q , находясь в этом поле.

Размерность : $[E] = \left[\frac{H}{Кл} \right] = \left[\frac{В}{м} \right]$

Если q помещен в эл. поле напряжен. E , то на него действует сила:

$$F = qE$$

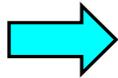
Если заряд (+), то направл. \vec{E}
совпадает с \vec{F} .

Поле E от точеч. заряда q .

На $q_{пр}$ действ. сила:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}} = k \cdot \frac{q}{r^2}.$$

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q \cdot q_{пр}}{r^2}$$



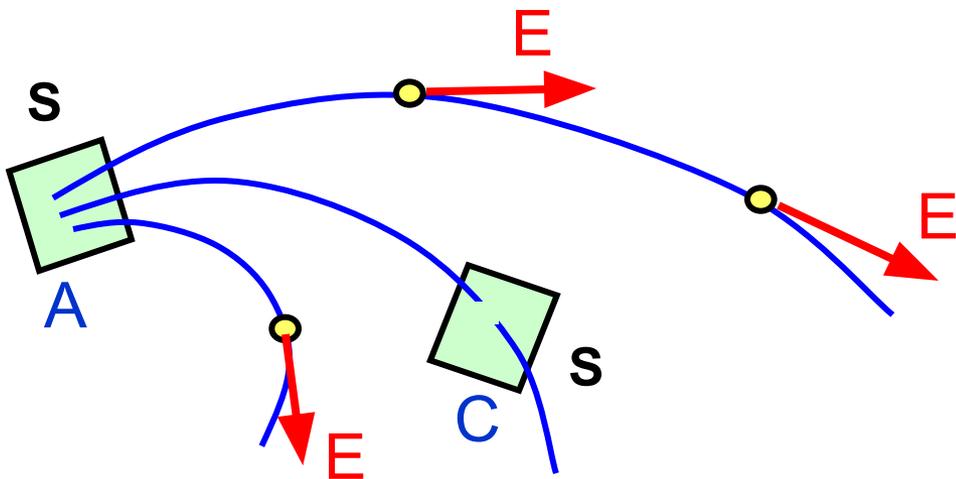
$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Напряжен. эл. поля
от точеч. q .

5. Силовые линии эл. поля

Эл. поле представляют графически **СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ.**

Сил. линии поля E проводят так, что **касательная** к ним дает в каждой точке **направление**, а **густота** линий – **величину** вектора E .

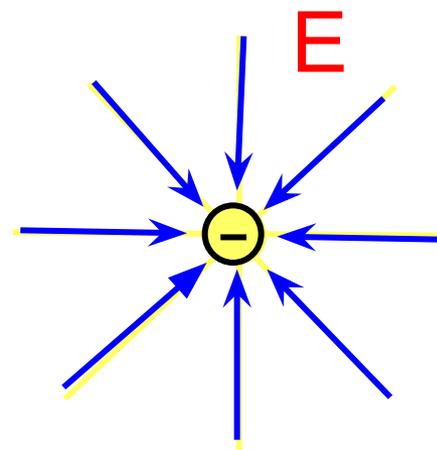
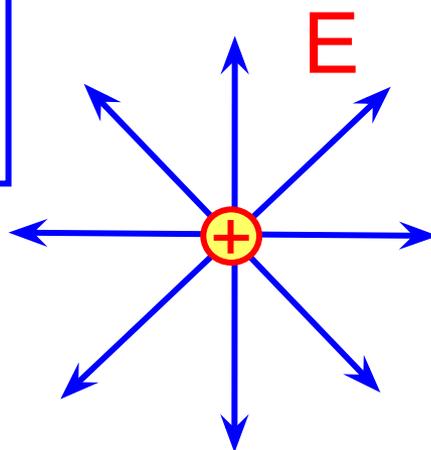


$$E_A > E_C$$

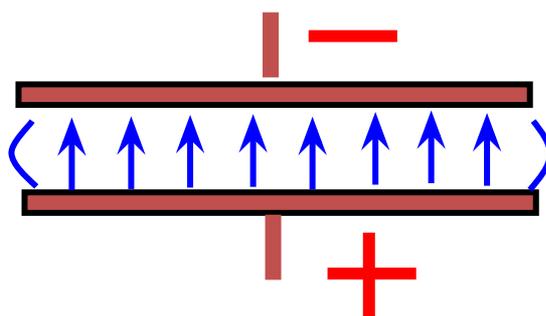
Силловые линии поля E заряженных тел

СЛ поля E
точечного
заряда.

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



Пол E в
конденсаторе
однородно



Силловые Линии поля E начин-ся на $+q$ и
заканч-ся на $-q$ или уходят в ∞ .

СЛ однородного поля E парал-ны.

6. Принцип суперпозиции эл. полей

Пусть поле E создается несколькими q .

Найдем E в т. A . Поместим в т. A $+q_{\text{пр}}$.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \sum \vec{F}_i.$$

$$\vec{F} = q_{\text{пр}} \vec{E} \quad \longrightarrow$$

$$q_{\text{пр}} \vec{E} = q_{\text{пр}} \vec{E}_1 + q_{\text{пр}} \vec{E}_2 + q_{\text{пр}} \vec{E}_3 = q_{\text{пр}} \sum \vec{E}_i.$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \sum \vec{E}_i.$$

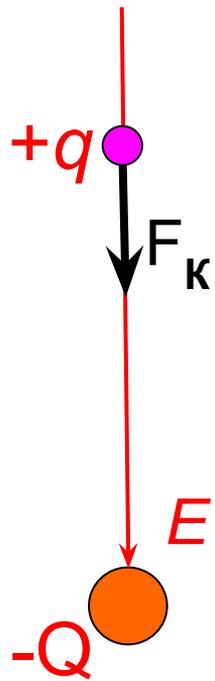
Принцип
суперпозиции

Напряжен. эл. поля E от системы точек. q равна **векторной** сумме полей E_i , создаваемых в данной точке каждым из q в отдельности.

Принцип суперпоз. позволяет вычислять поле E от любой системы q . Если **заряд** q протяженный, то его разбивают на малые части dq и поле от них суммируют **векторно**.

7. Потенциал

Электрическое поле E является потенциальным и заряд q в нём обладает **потенц. энергией Π** .



Если q отпустить, то под действием F_k его Π энергия превр-ся в **кинет.**

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

Потенциал φ – энергетическая хар-ка эл. поля, **скаляр**

$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \quad (\text{Вольт})$$

Π зар. q в эл. поле с потенц. φ : $\Pi = q \cdot \varphi$

φ поля от точечн. Q : $\varphi = \frac{\Pi}{q} = \dots$

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

φ эл. поля от точечного зар. Q

Потенц. эл. поля от нескольких q :

$$\varphi = \sum \varphi_i$$

Потенц. эл. поля от системы q
равен алгебраической сумме φ_i
от каждого из q_i .

Электроёмкость и энергия электростатического поля

1. Электроёмкость проводников

C - это способность пр-ка накапливать на поверхности **q**.

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

C – электроёмкость пров-ка.

Электроём-ть **C** пр-ка есть отношение заряда **q** пр-ка к его потенц. **φ**.

$$[C] = \text{Кл/В} = [\Phi](\text{Фарада})$$

Это больш. вел-на, поэтому **мкФ**, **нФ**, **пкФ**.

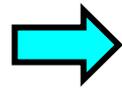
1 Ф – ёмкость шара в воздухе $R = 9 \cdot 10^6 \text{ м}$.

C пр-ка опред-ся размерами, формой, ϵ .

Электроёмкость шара

Потенц. шара в среде с ϵ :

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} =$$



$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$$

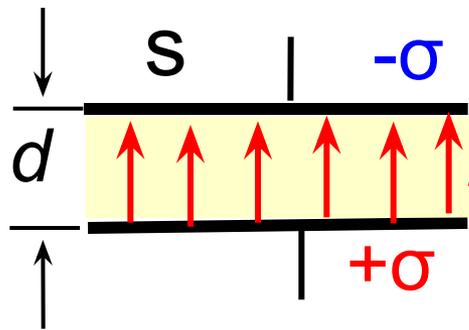
Электроём-
кость шара

2. Конденсаторы

Уединенные пр-ки имеют малую **C**.

Велика **C** Конденсаторов (две пластины, между которыми наход-ся диэл-к (ϵ)).

2.1. Плоский конденсатор



Конд-р заряд-ся, если к нему

приложить $\varphi_1 - \varphi_2 = U$.

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

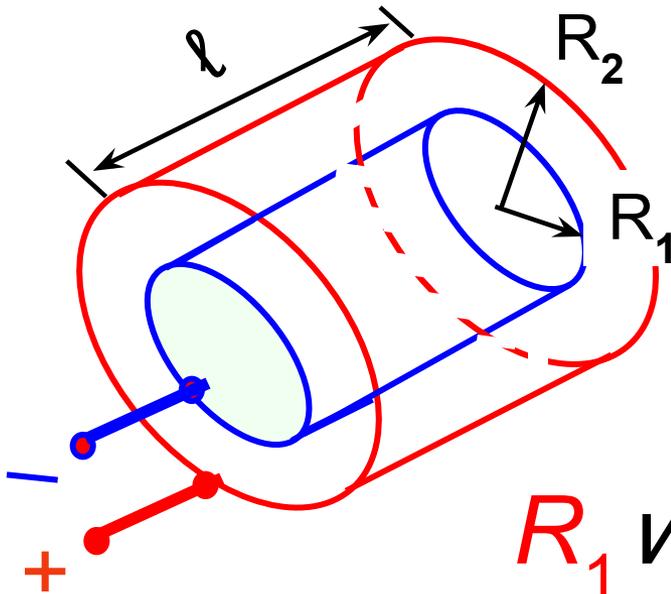
Ёмкость плос-го конд-ра.

S – площ. пластин, d – зазор между пласт., ε

Ёмкость K опред-ся не значениями q и U , а его параметрами: S , d , ε .

2.2. Цилиндрический конд-р

Обкладки цилиндр. **К** состоят из двух коаксиальных цилиндров.



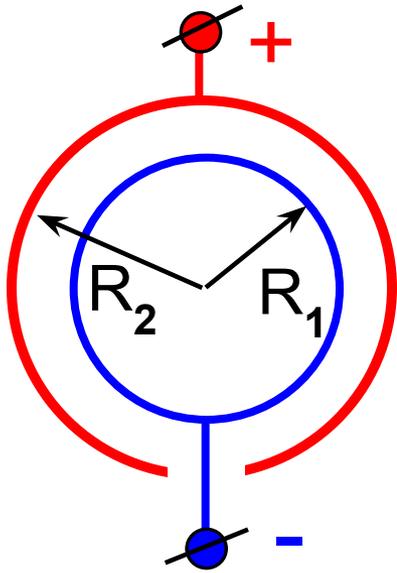
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Ёмкость
цилинр. **К**

R_1 и R_2 – радиусы внутр. и
внеш-го цилиндров

l - длина.

2.3 Сферический конденсатор

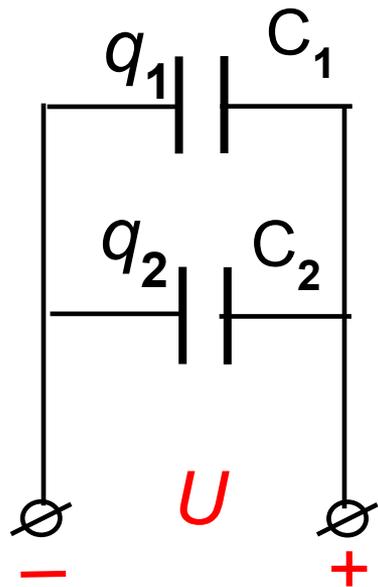


Обкладки сферического K состоят из двух соосных сфер радиусами R_1 и R_2 .

$$C = \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Емкость сферического K

3. Параллельное соедин-ие конден-ов



Ёмкость батареи K .

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

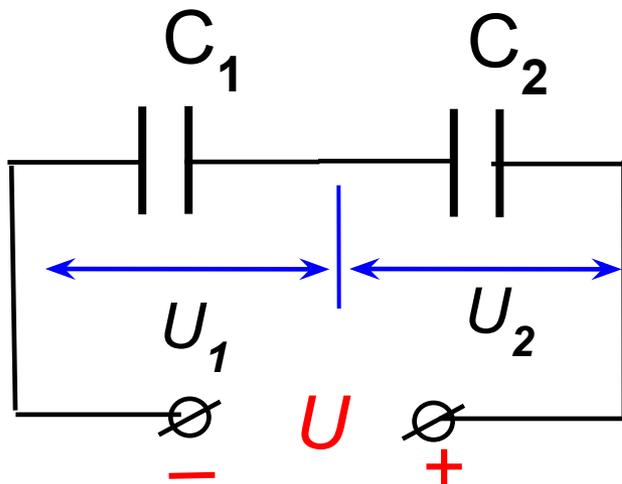
Для всех K напряж. $U = \text{const.}$

$$\left. \begin{array}{l} q = C \cdot U \\ q_1 = C_1 U \\ q_2 = C_2 U \end{array} \right\} \begin{array}{l} q = q_1 + q_2 \\ q = \cancel{U}C = \cancel{U}(C_1 + C_2) \end{array}$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Ёмкость C батареи // соединенных
Конденсаторов равна сумме их C_i .

4. Последовательное соедин-ние С



Ёмкость батареи C . $C = \frac{q}{U}$

Для всех K заряд $q = \text{const}$

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{q}{C} \\ U_1 &= \frac{q}{C_1} \\ U_2 &= \frac{q}{C_2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} U &= U_1 + U_2 \\ \frac{q}{C} &= \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} \end{aligned}$$

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

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$

При вычислении C батареи послед. соедин-х K суммируются величины, обратные их C

5. Энергия заряженного пр-ка

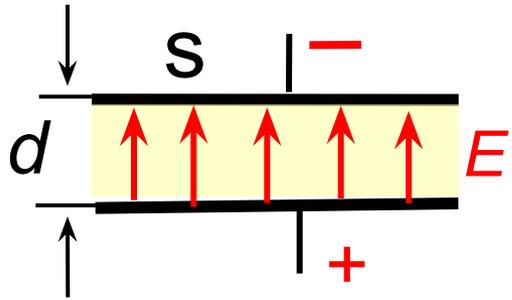
Энергия W . Если пр-к имеет q , то его $\varphi = q/C$.
Для увелич-я его q , надо перенести на пр-к dq из ∞ , соверш. A :

$$W = \frac{C\varphi^2}{2}$$

Энергия заряд. пр-ка.

6. Энергия электростатического поля

Заряд. Конденсатор тоже имеет W . Пусть к пластинам K приложено $\Delta\varphi = U$.



$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$$