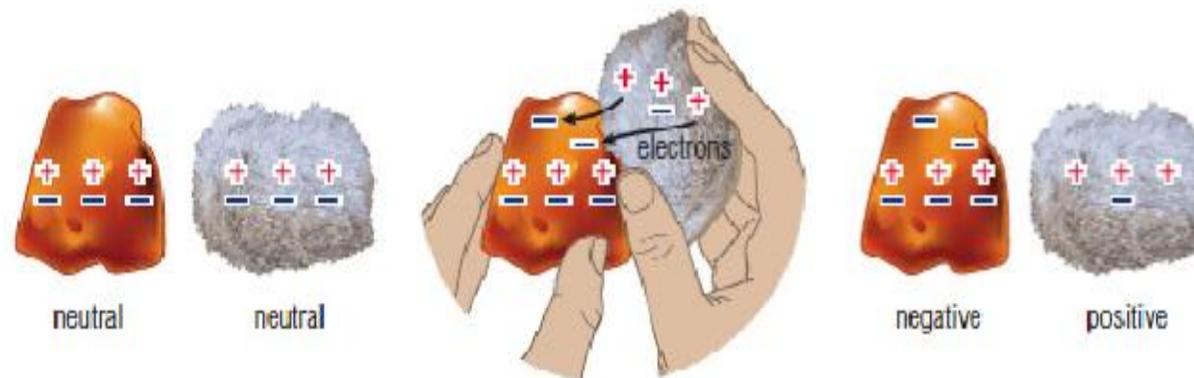


Лекция 5

Электрическое поле

Два вида заряда



Натираем стекло шелком, а янтарь – шерстью:

- ✓ янтарь – янтарь ОТТАЛКИВАЮТСЯ;
- ✓ стекло – стекло ОТТАЛКИВАЮТСЯ;
- ✓ стекло – янтарь ПРИТЯГИВАЮТСЯ;

Электрон – древнегреческое название янтаря.

В целях классификации заряды можно назвать, например, так: “стеклянный” и “янтарный”, но более точными оказались названия отрицательный и положительный.

Электризация

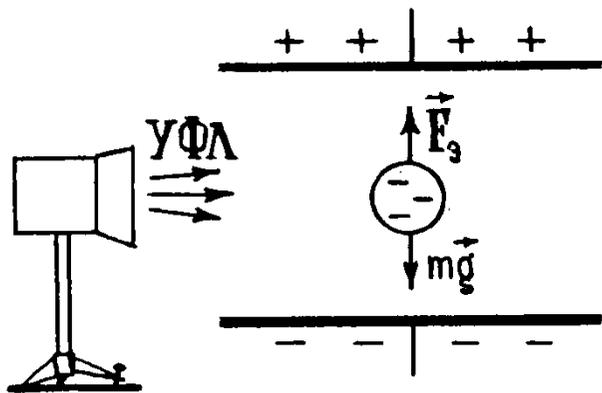
Обычно тела электрически нейтральны, поскольку содержат заряды обоих типов в одинаковом количестве. Трение в нашем примере не создает электрические заряды, а лишь перераспределяет их.

Электризация – процесс создания избытка зарядов одного знака на теле (трение, прикосновение, индукция).

Электрический заряд – скалярная величина.

Опыт Милликена

Электрический заряд дискретен. Любой электрический заряд кратен элементарному электрическому заряду.



$$e = 1.60217 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Заряд электрона, одной из основных структурных единиц вещества, равен элементарному электрическому заряду.

В СИ единица измерения заряда – Кулон, [Кл]. 1 Кл равен электрическому заряду, проходящему через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за время 1 с.

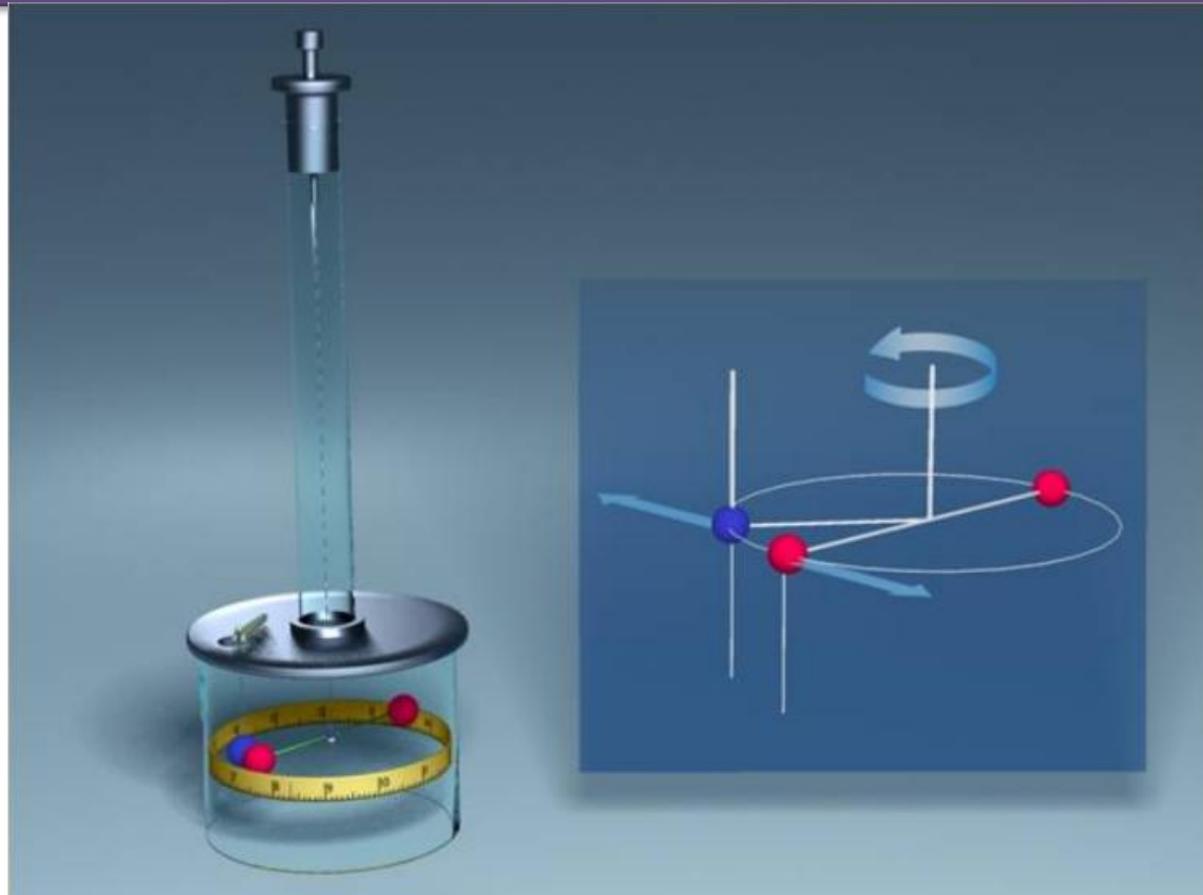
Закон сохранения заряда (Фарадей)

Алгебраическая сумма зарядов замкнутой системы остается неизменной с течением времени.

Релятивистская инвариантность электрического заряда

Электрический заряд одинаков во всех системах отсчета. Движение, в том числе и со скоростями близкими к скорости света, не изменяет величину заряда.

Закон Кулона

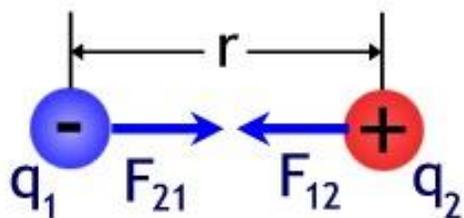


Сила взаимодействия зависит от:

- ✓ величины зарядов;
- ✓ расстояния между ними;
- ✓ окружающей среды.

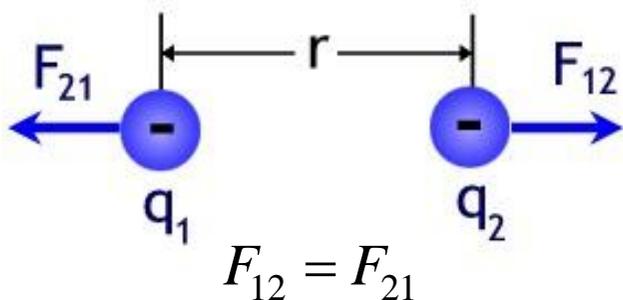
Закон Кулона (вакуум)

Точечный заряд – это заряд, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.



$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$



Два точечных заряда притягиваются, если знаки зарядов разные, и отталкиваются, если знаки одинаковые. Сила взаимодействия пропорциональна величине зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Сила направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды.

Закон Кулона (среда)

В однородной изотропной среде сила взаимодействия уменьшается. Относительная диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз сила взаимодействия электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$\epsilon = 1$ вакуум

$\epsilon > 1$ среда

Вещество	Проницаемость
Вакуум	1
Воздух	1,0006
Углекислый газ	1,0009
Стекло	3,7-10
Вода	81
Парафин	2,0-3,0

Электрическое поле

Концепция дальнего действия: тела действуют друг на друга через пустоту, на любом расстоянии с бесконечно большой скоростью. Материальные посредники взаимодействия отсутствуют.

Концепция ближнего действия: взаимодействие передается посредником (полем), а скорость распространения возмущения поля конечна.

Электрический заряд порождает в окружающем пространстве непрерывную материю – электрическое поле.

Электрическое поле – форма существования материи, посредством которой осуществляется взаимодействие зарядов.

Напряженность электрического поля

Количественной характеристикой электрического поля служит векторная физическая величина – напряженность электрического поля.

Напряженность электрического поля – сила, действующая на пробный точечный единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.

$$\vec{E} = \vec{F}/q_0 \quad [H/Кл] = [B/м]$$

Напряженность – силовая характеристика поля.

На заряд, помещенный в электрическое поле, действует сила

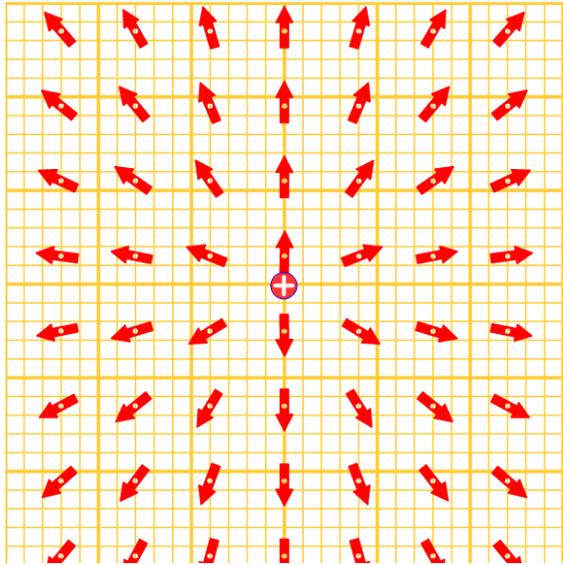
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Поле точечного заряда

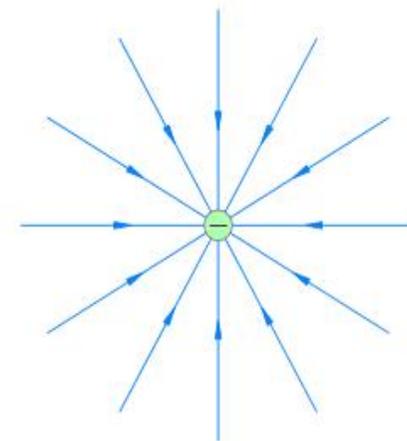
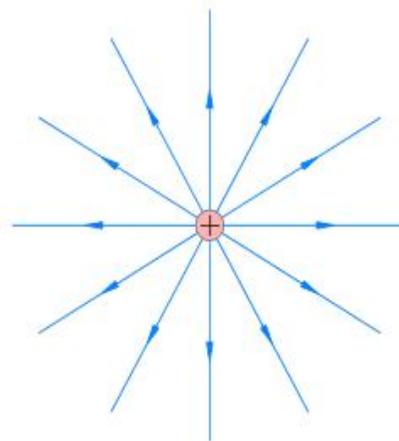
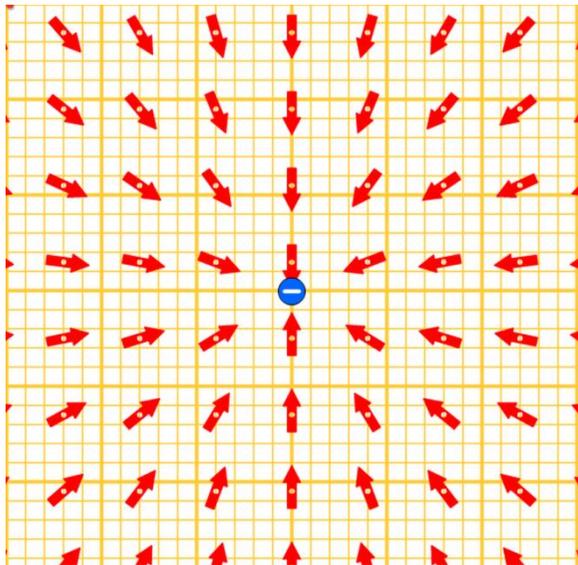
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^3} \vec{r}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

Визуализации векторного поля



Силовая линия (линия напряженности) - воображаемая линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряженности.



Силовые линии:

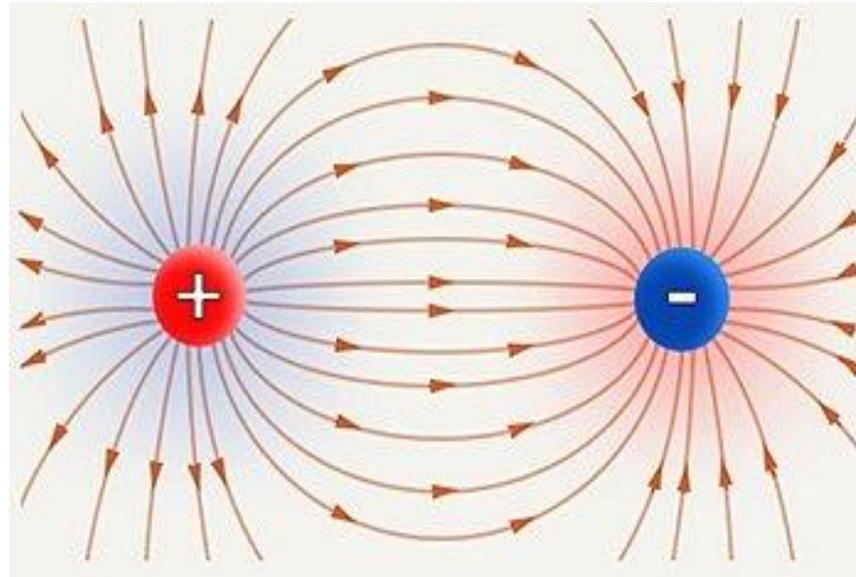
- ✓ начинаются на положительных зарядах, оканчиваются на отрицательных либо уходят в бесконечность;
- ✓ не замкнуты;
- ✓ не пересекаются;
- ✓ сгущаются там, где напряженность поля больше.

Принцип суперпозиции

Напряженность электростатического поля системы точечных зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, которые создавал бы каждый из этих зарядов в отсутствии остальных.

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i$$



Потенциал электрического поля

Разность потенциалов между точками 1 и 2 есть работа по перемещению пробного точечного единичного положительного заряда между ними.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0}$$

Потенциал электрического поля в точке есть работа сил поля по перемещению пробного точечного единичного положительного заряда из данной точки на бесконечность

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{A_{r\infty}}{q_0} \qquad \varphi(\infty) = 0$$

Принцип суперпозиции

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

Потенциал электрического поля системы точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов электрических полей, созданных каждым зарядом в отдельности.

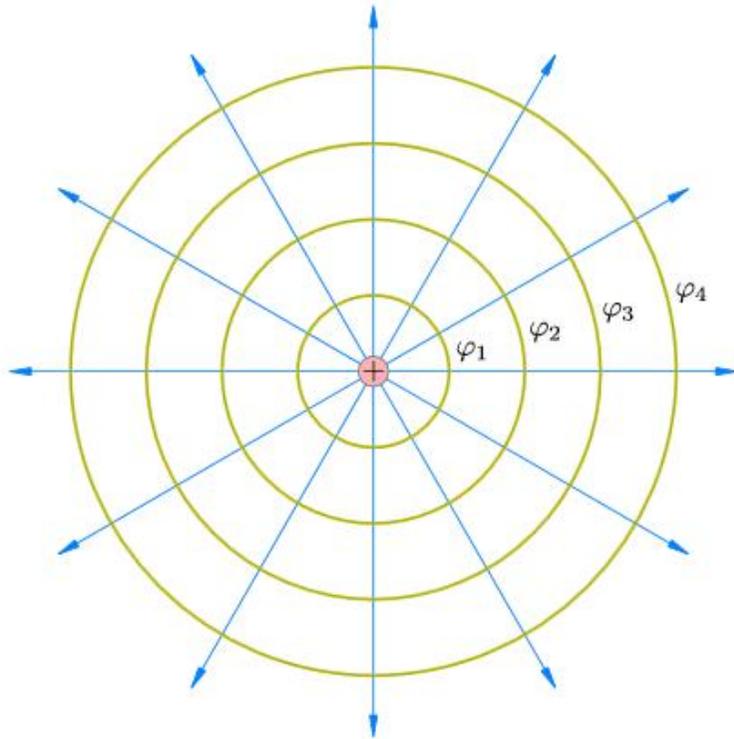
Связь между потенциалом и напряженностью электрического поля

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k} \right)$$

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\nabla\varphi$$

Силовые линии и эквипотенциальные поверхности ортогональны.

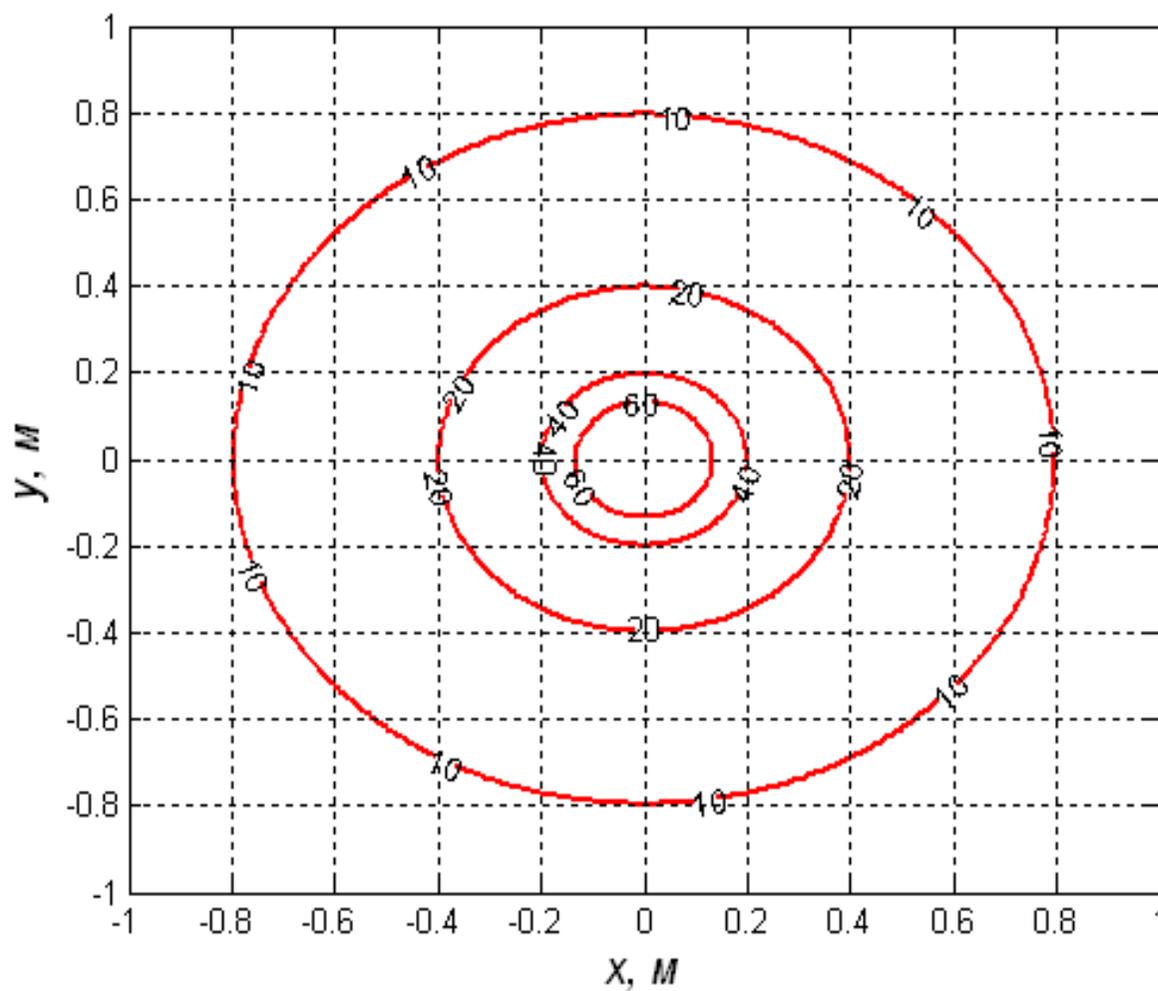
Поле точечного заряда



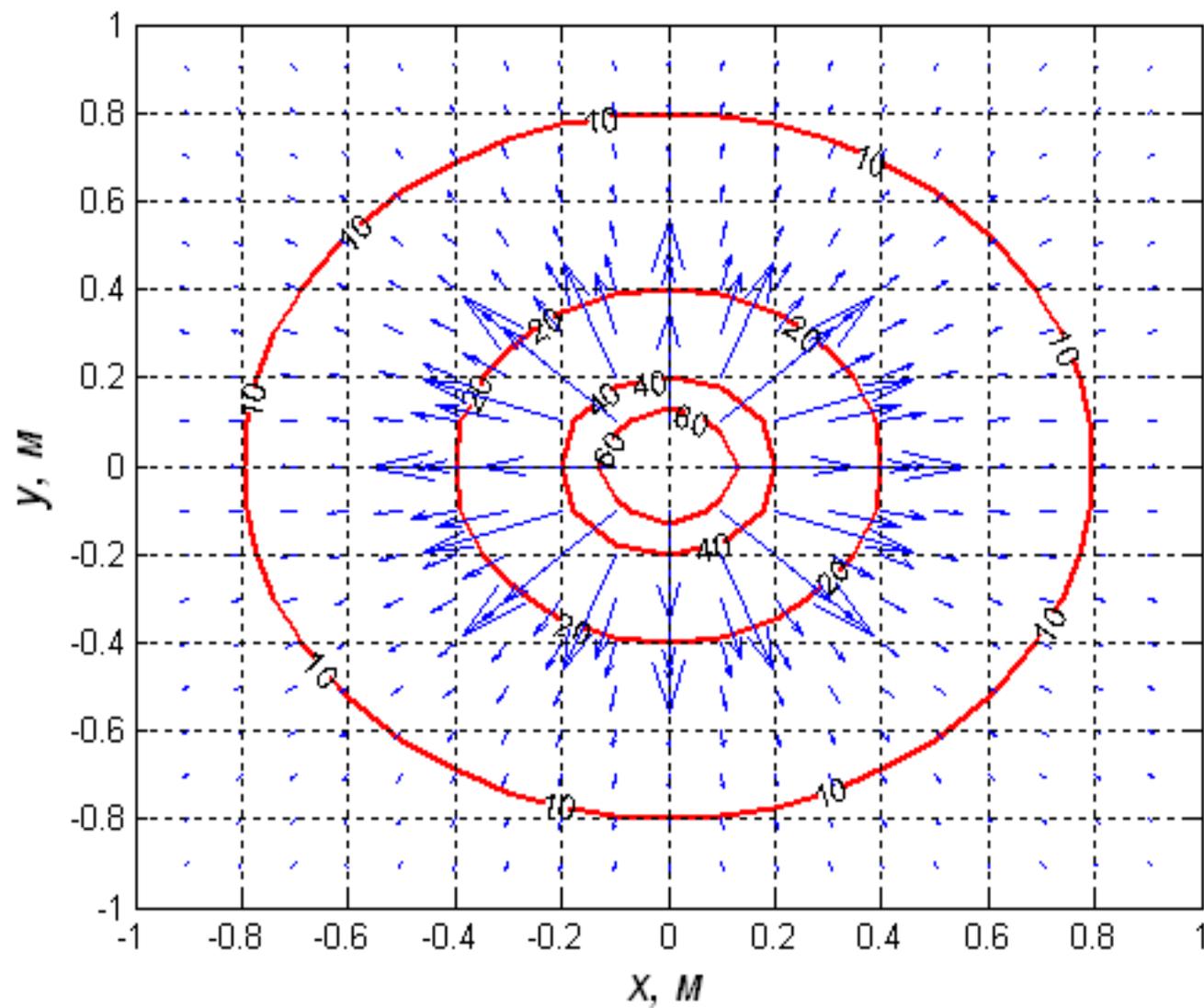
$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

$$\varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

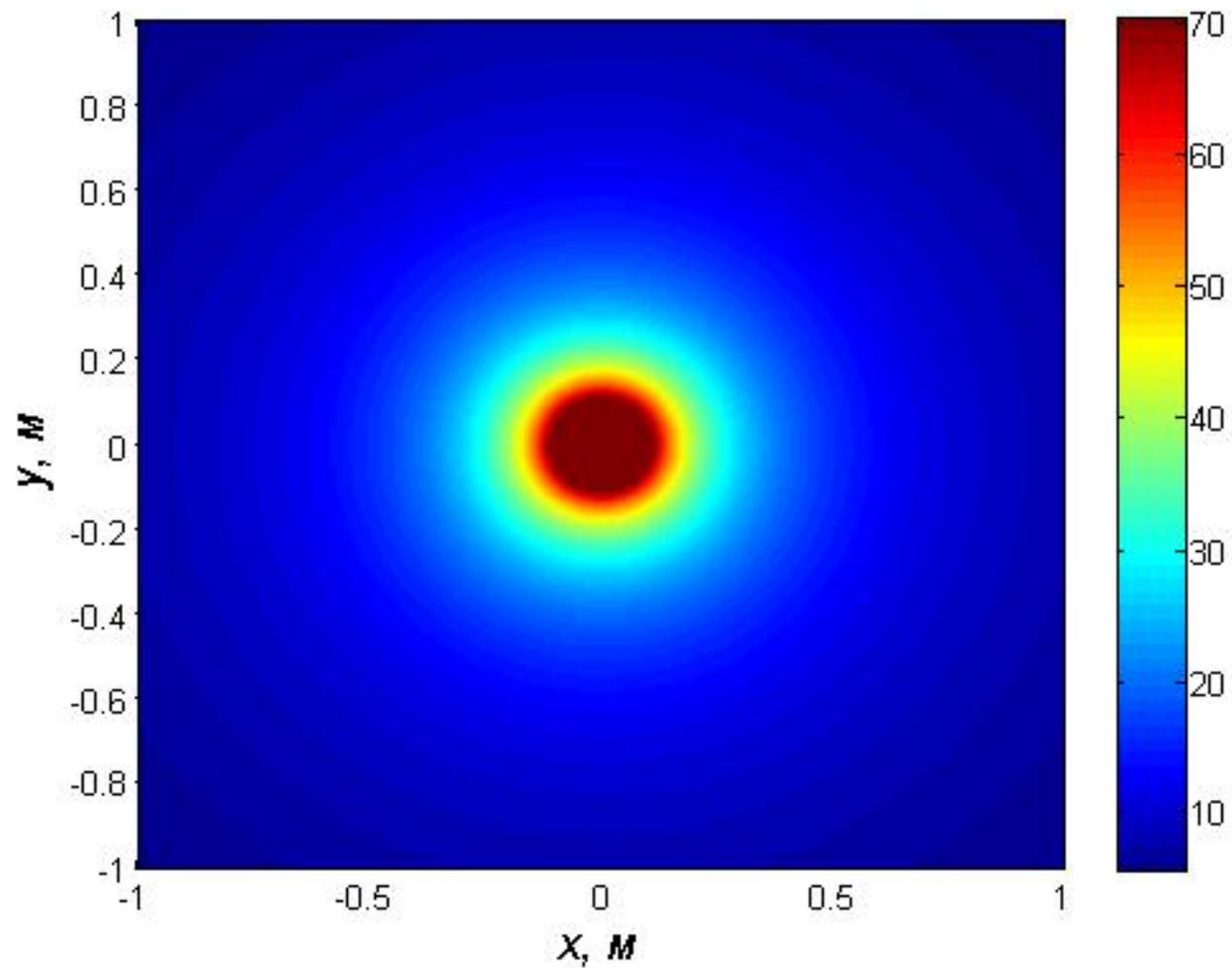
Электрическое поле точечного заряда



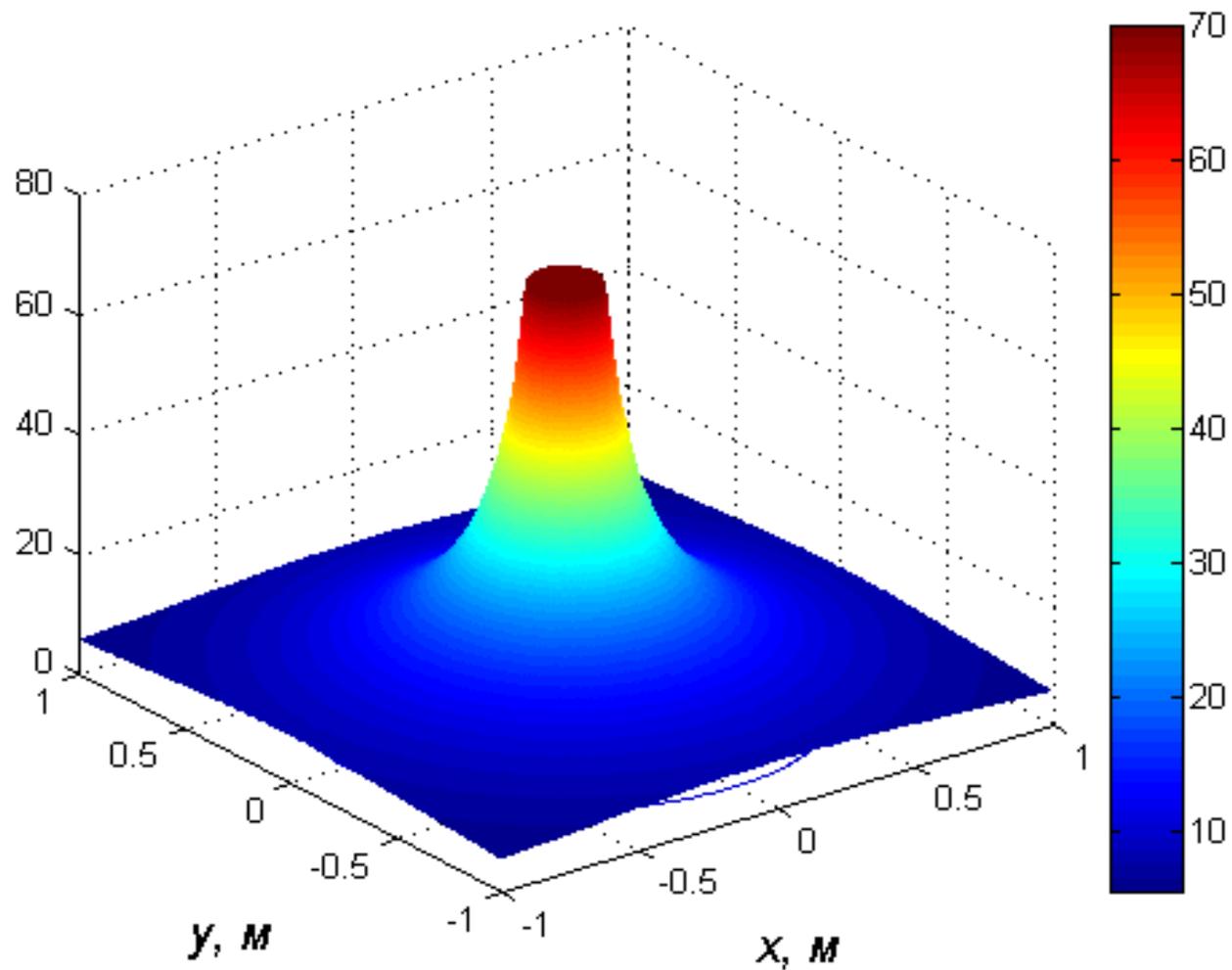
Электрическое поле точечного заряда



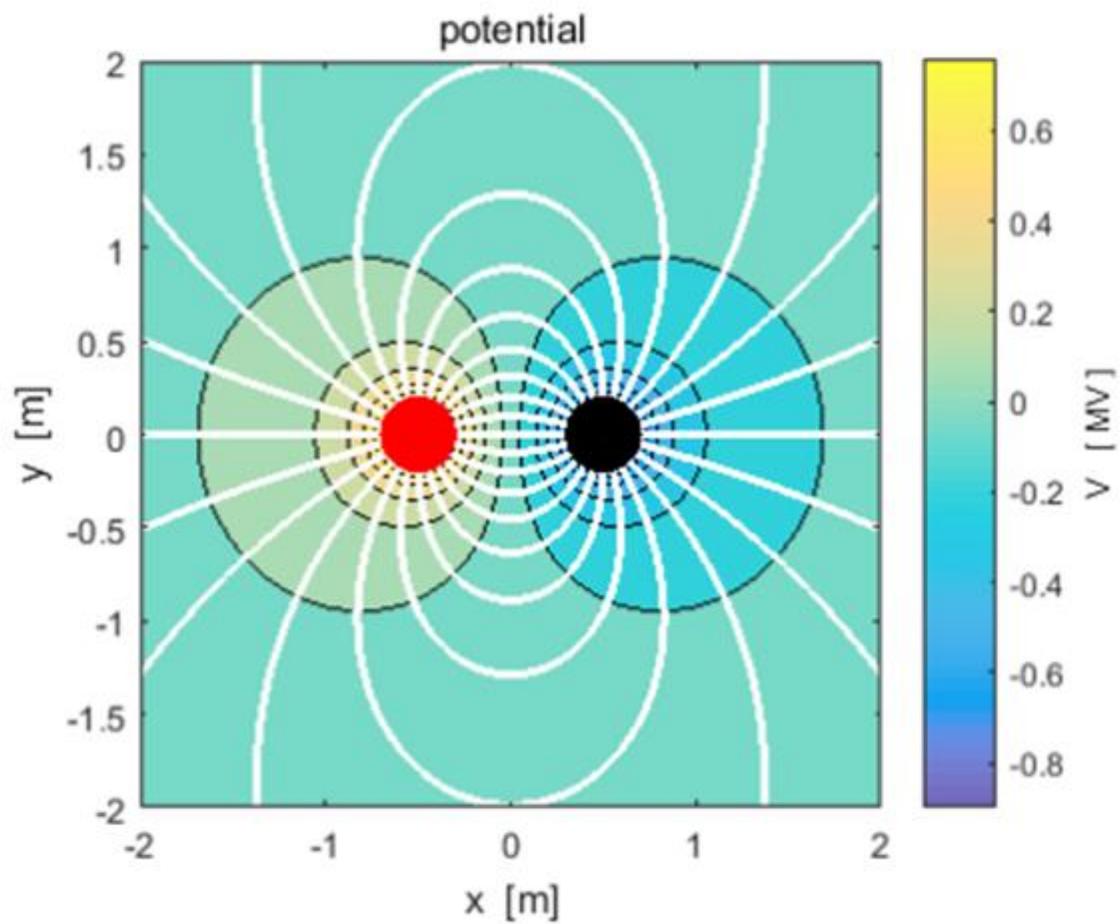
Электрическое поле точечного заряда



Электрическое поле точечного заряда



Поле двух точечных зарядов



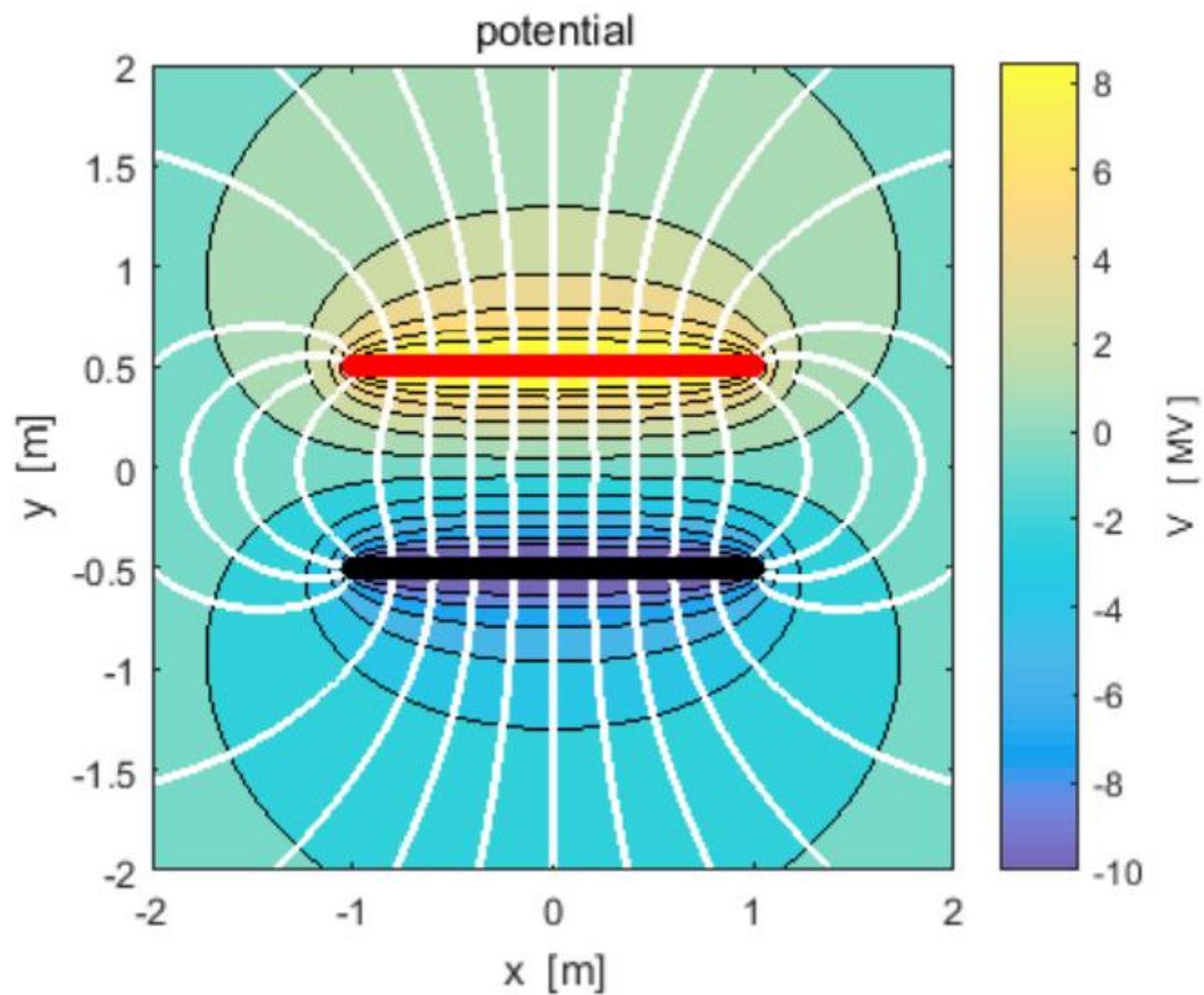
Конденсатор

Электрический конденсатор – система из двух проводников, заряженных разноименно, но равными по абсолютной величине зарядами, имеющих такое расположение и форму, что создаваемое ими электрическое поле полностью или почти полностью находится в ограниченной части пространства.

Емкость плоского конденсатора

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

Поле конденсатора



Энергия электрического поля

Энергия плоского конденсатора

$$W = \frac{1}{2}qU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{q^2}{2C}$$

Объемная плотность энергии электрического поля

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$