

ОБЩАЯ ФИЗИКА.

Электричество.

Лекции №1-2

---

**Электростатическое поле**



# Содержание

---

- 1) *Свойства электрических зарядов*
- 2) *Закон Кулона – основной закон электростатики*
- 3) *Электрическое поле. Электромагнитное взаимодействие*
- 4) *Напряженность электростатического поля*
- 5) *Электрический диполь. Поле диполя*
- 6) *Линейная, поверхностная и объемная плотности заряда*
- 7) *Силовые линии электростатического поля*



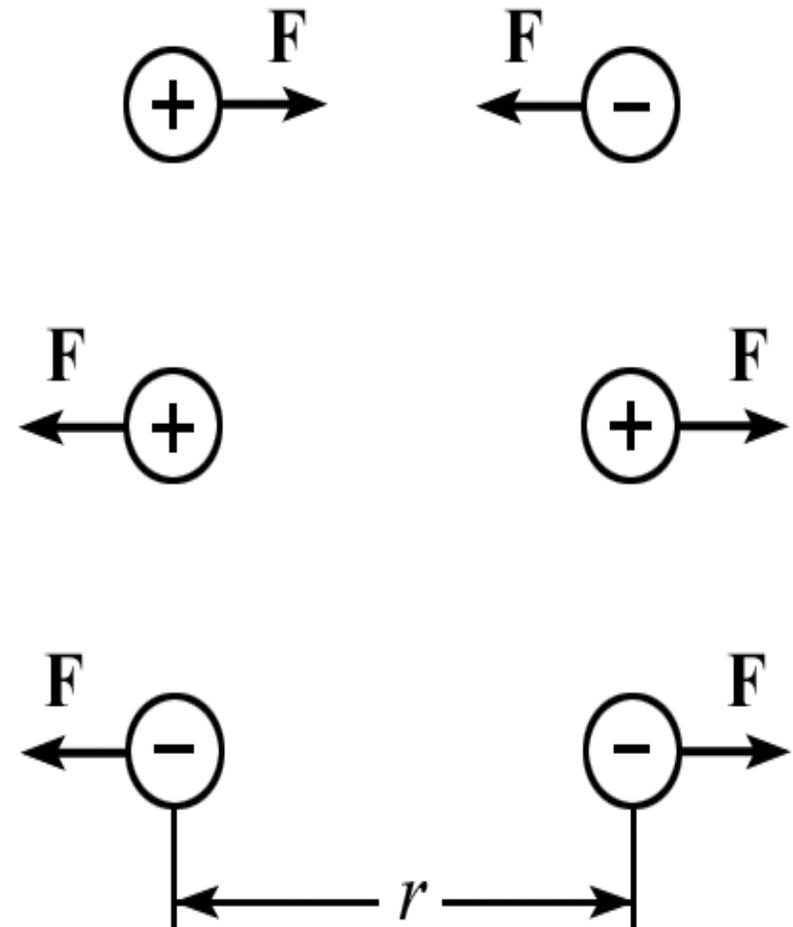
# Исторический очерк

---

- 1) Порядка 500 лет до н. эры Фалес Милетский обнаружил, что потертый шерстью янтарь притягивает легкие пушинки. Его дочь пыталась почистить шерстью янтарное веретено и обнаружила этот эффект.
- 2) В россыпях древнего Вавилона (4000 лет назад) обнаружены сосуды из глины, содержащие железный и медный стержни. На дне битум – изолирующий материал. Стержни разъедены лимонной или уксусной кислотой, то есть находка напоминает гальванический элемент.
- 3) Золотое покрытие вавилонских украшений можно объяснить только гальваническим способом их нанесения.

# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

**Электростатика** – раздел физики, изучающий взаимодействие и свойства систем электрических зарядов неподвижных относительно выбранной инерциальной системы отсчета.



**Электрический заряд** – мера электрических свойств тел или их составных частей.

# *Свойства электрических зарядов*

---

1. В природе существуют *2 рода электрических зарядов*
2. *Закон сохранения заряда* – фундаментальный закон (экспериментально подтвержден Фарадеем в 1845 г.)

*Полный электрический заряд изолированной системы есть величина постоянная*

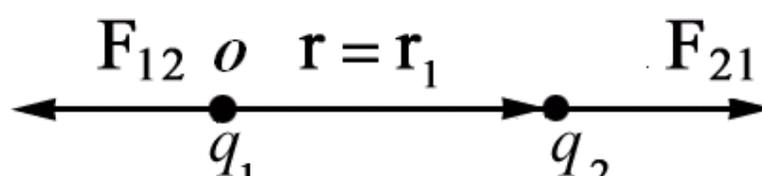
$$\sum q_i = \text{const.}$$

3. Электрический заряд – *инвариант*, т.е. его величина не зависит от выбора системы отсчета
4. Электрический заряд также – *величина релятивистски инвариантная*, т.е. не зависит от того движется заряд или покоится
5. Квантование заряда, т.е. электрический заряд дискретен, его величина изменяется скачком

# Закон Кулона – основной закон электростатики

*Точечный заряд* сосредоточен на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел.

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов


$$\vec{F}_{21} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^3} \vec{r}$$

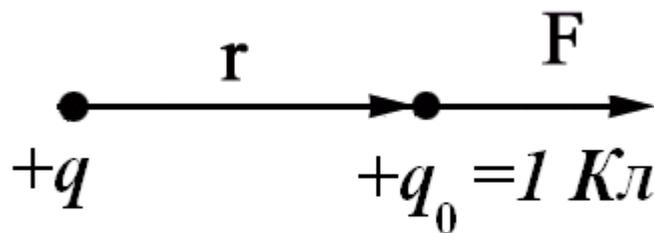
# *Электрическое поле. Напряженность электрического поля*

*Электрическое поле* – особая форма существования материи, посредством которой взаимодействуют электрические заряды

*Электростатическое поле* – поле, посредством которого осуществляется кулоновское взаимодействие неподвижных электрических зарядов

*Напряженность электрического поля* в данной точке – физическая величина, определяемая силой, действующей на пробный положительный точечный заряд, помещенный в эту точку поля

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



# Напряженность электрического поля

---

$$\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} \quad E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

Зная напряженность поля в какой-либо точке пространства,

можно найти силу  $\vec{F} = q\vec{E}$

Напряженность поля точечного заряда в вакууме

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

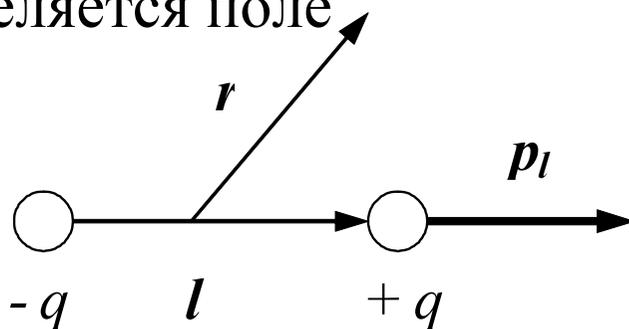
Принцип суперпозиции напряженностей электрических полей

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

$$q_0 \vec{E} = \sum_{i=1}^n q_0 \vec{E}_i \quad \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

# Поле электрического диполя

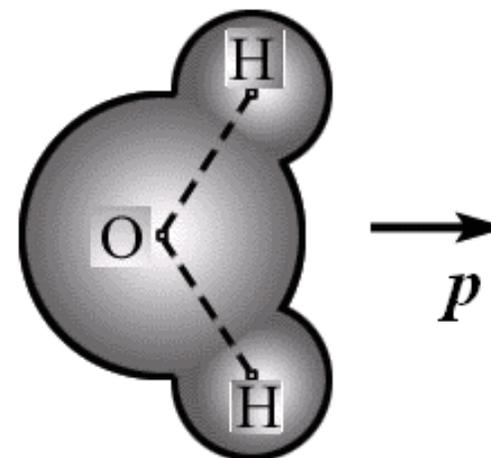
**Электрический диполь** – система двух одинаковых по величине разноименных точечных зарядов, расстояние  $l$  между которыми значительно меньше расстояния до тех точек, в которых определяется поле



**Ось диполя** – прямая, проходящая через оба заряда

$l$  – плечо диполя – вектор, проведенный от отрицательного заряда к положительному

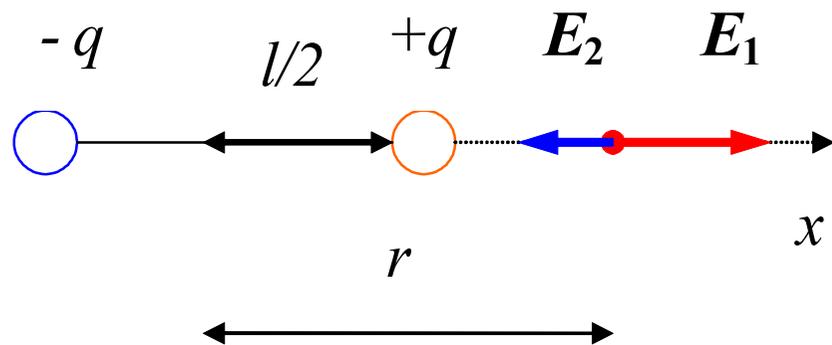
$$\vec{p}_l = q\vec{l} \quad - \text{дипольный момент}$$



# Напряженность поля в точке, расположенной на оси диполя

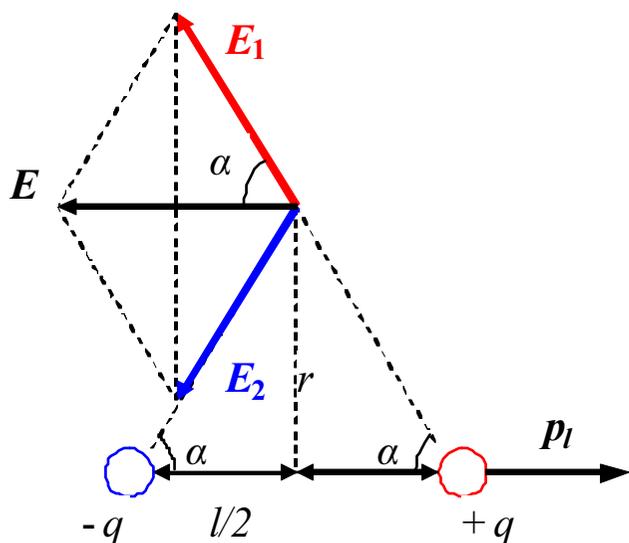
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{l}{2}\right)^2}{\underbrace{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2 \cdot \left(r + \frac{l}{2}\right)^2}_{r \gg l \Rightarrow \left(r - \frac{l}{2}\right) \approx r, \quad \left(r + \frac{l}{2}\right) \approx r}} =$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2rl}{r^4} = \frac{2ql}{4\pi\epsilon_0 r^3}.$$



$$\vec{E} = \frac{2\vec{p}_l}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

## Напряженность поля диполя в точке, лежащей на перпендикуляре, восстановленном к его середине



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad \vec{E} \uparrow \downarrow \vec{p}_l$$

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \quad E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)}$$

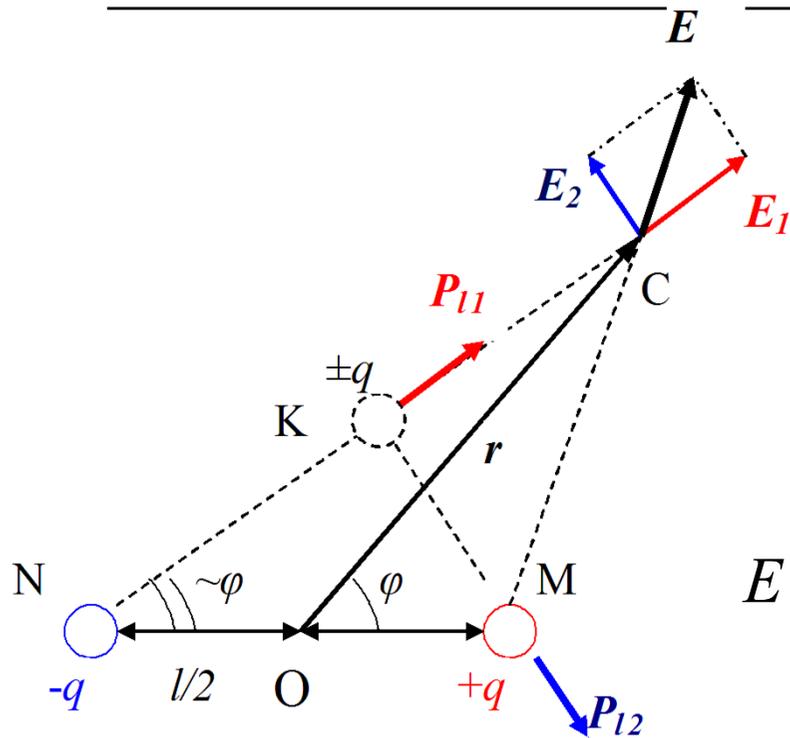
$$E = E_1 \cos \alpha + E_2 \cos \alpha = \frac{l}{2} \cos \alpha = \frac{l}{2\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}$$

$$E = 2 \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \cdot \frac{l}{2\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}} = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$r \gg l \Rightarrow \frac{l^2}{4} \approx 0$$

$$\vec{E} = -\frac{\vec{p}_l}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

## Напряженность поля диполя в произвольной точке С, лежащей на расстоянии $r$ от середины диполя



$$p_{11} = q |NK| = ql \cos \varphi = p_l \cos \varphi$$

$$p_{12} = q |KM| = ql \sin \varphi = p_l \sin \varphi$$

$$\vec{p}_{11} \perp \vec{p}_{12}$$

$$\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\vec{p}_{11}}{r^3}$$

$$\vec{E}_2 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\vec{p}_{12}}{r^3}$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r^3} \cdot \sqrt{(2p_{11})^2 + p_{12}^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \cdot \sqrt{4p_l^2 \cos^2 \varphi + p_l^2 \sin^2 \varphi} = \frac{p_l}{4\pi\epsilon_0 r^3} \cdot \sqrt{4\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} =$$

$$= \frac{p_l}{4\pi\epsilon_0 r^3} \cdot \sqrt{3\cos^2 \varphi + 1}$$

# Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов

Линейная плотность заряда  $\tau = \frac{dq}{dl}$ ,  $\left[ \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \right]$  - заряд,  
приходящийся на единицу длины

Поверхностная плотность заряда  $\sigma = \frac{dq}{dS}$ ,  $\left[ \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right]$  - заряд,  
приходящийся на единицу площади

Объемная плотность заряда  $\rho = \frac{dq}{dV}$ ,  $\left[ \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3} \right]$  - заряд,  
приходящийся на единицу объема

$$dq = \tau \cdot dl$$

$$dE = k \frac{\tau \cdot dl}{r^2}$$

$$E = \int_l k \frac{\tau \cdot dl}{r^2}$$

$$dq = \sigma \cdot dS$$

$$dE = k \frac{\sigma \cdot dS}{r^2}$$

$$E = \int_S k \frac{\sigma \cdot dS}{r^2}$$

$$dq = \rho \cdot dV$$

$$dE = k \frac{\rho \cdot dV}{r^2}$$

$$E = \int_V k \frac{\rho \cdot dV}{r^2}$$

## Графическое изображение электрического поля.

### Силовые линии напряженности электрического поля

---

*Силовые линии напряженности электрического поля – линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с вектором  $\vec{E}$ .*

*Для однородного электрического поля ( поля, во всех точках которого линии напряженности  $\vec{E} = \text{const}$  ) электрического поля параллельны вектору  $\vec{E}$ .*

*Для точечных зарядов линии напряженности электрического поля направлены радиально,*

