

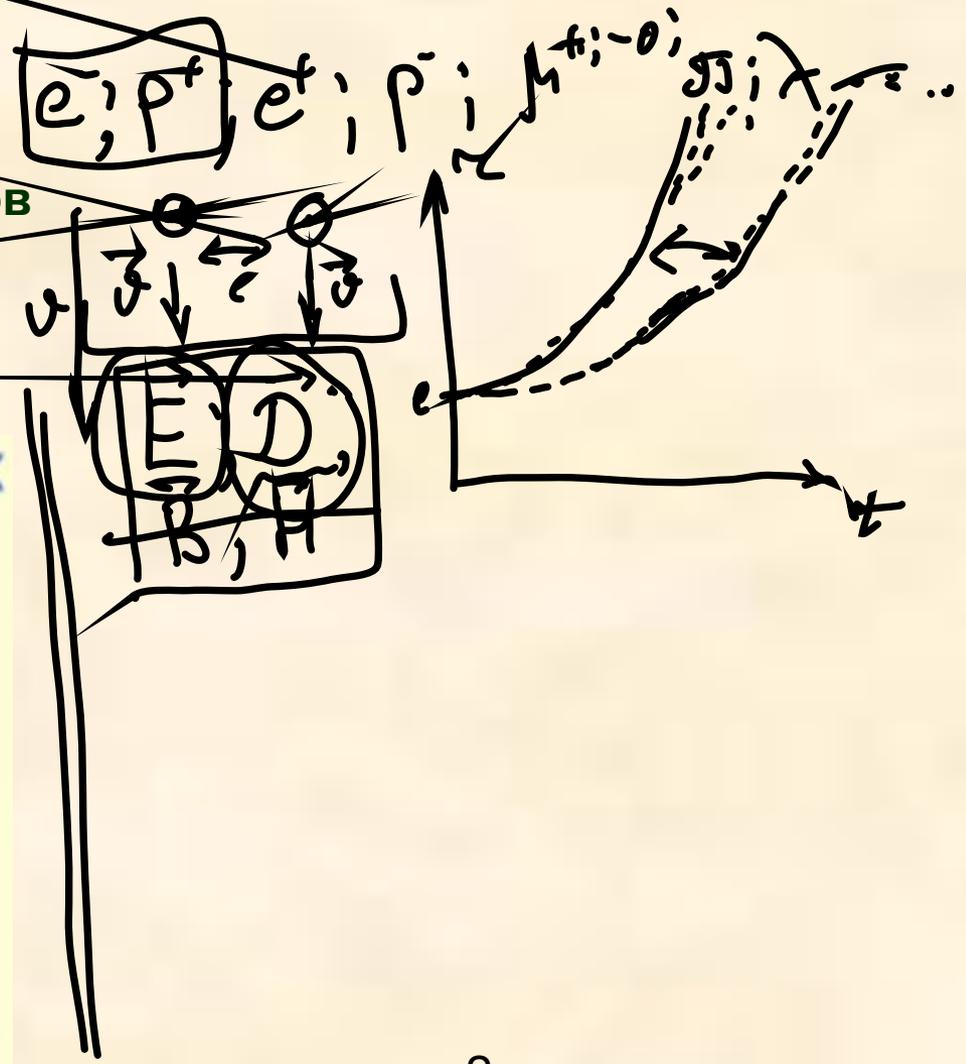
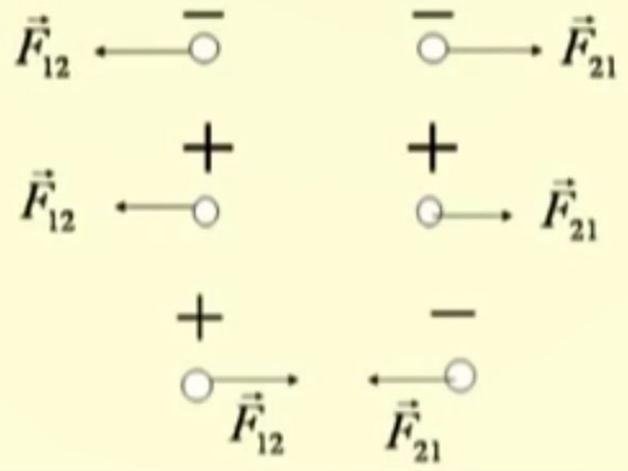
# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



# Введение. Общие сведения

- Электрические явления
- Открытие носителей зарядов
- Взаимодействие зарядов
- Энергия
- Динамика и статика зарядов
- Методы решения задач

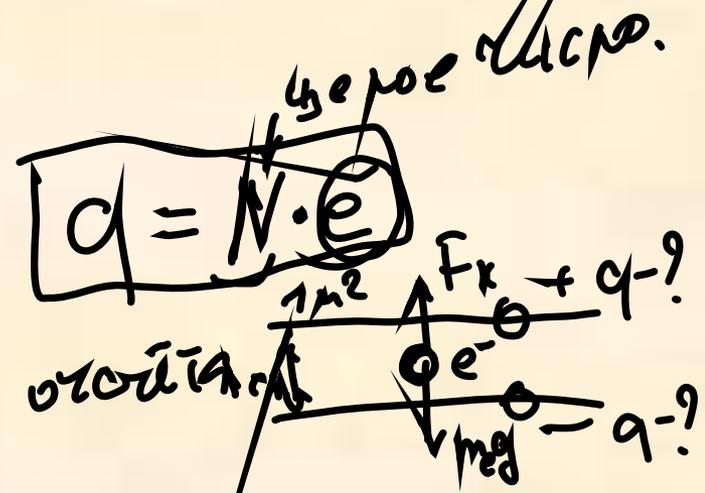
## Взаимодействие точечных зарядов



• Заряд, поле. (основные хар-ки), (q)

q

- 1)  $\int \dots$
- 2) Взаимодействуют
- 3)  $e^+$ ,  $e^-$ , дискретный
- 4) Инвариантен, от н. с-м  
 $q = \text{const}$

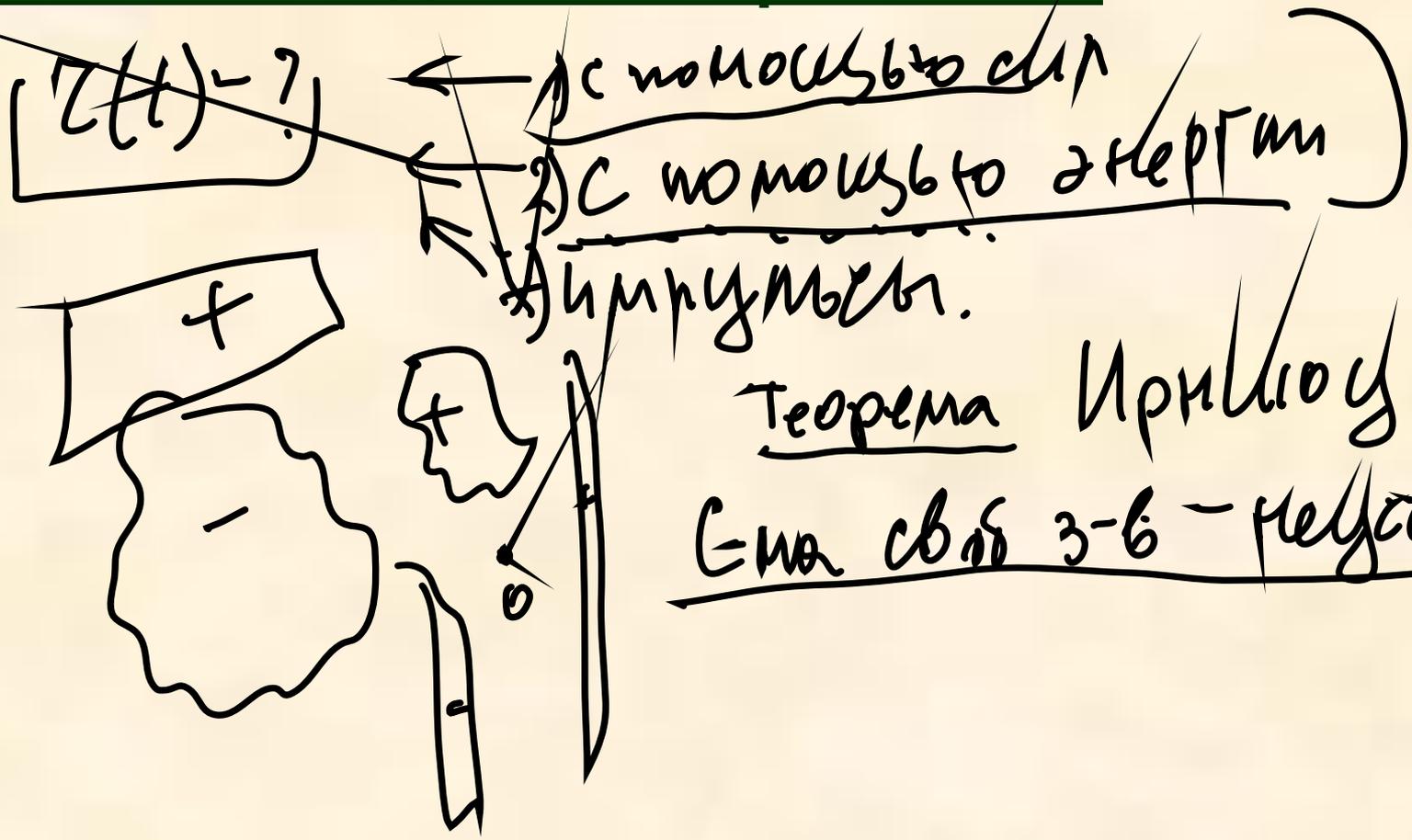


• Закон сохранения заряда

$q_{\Sigma} = \text{const}$  \* (в замкн. с-ме)

• Понятие электро---статики.

Основная задача электростатики



с помощью сил  
 с помощью энергии  
 формулы.

Теорема Ирншоу  
Ена свой 3-6 - неустойчива!



# • (1.2) Закон Кулона



**Закон Кулона** для точечных зарядов.

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$$

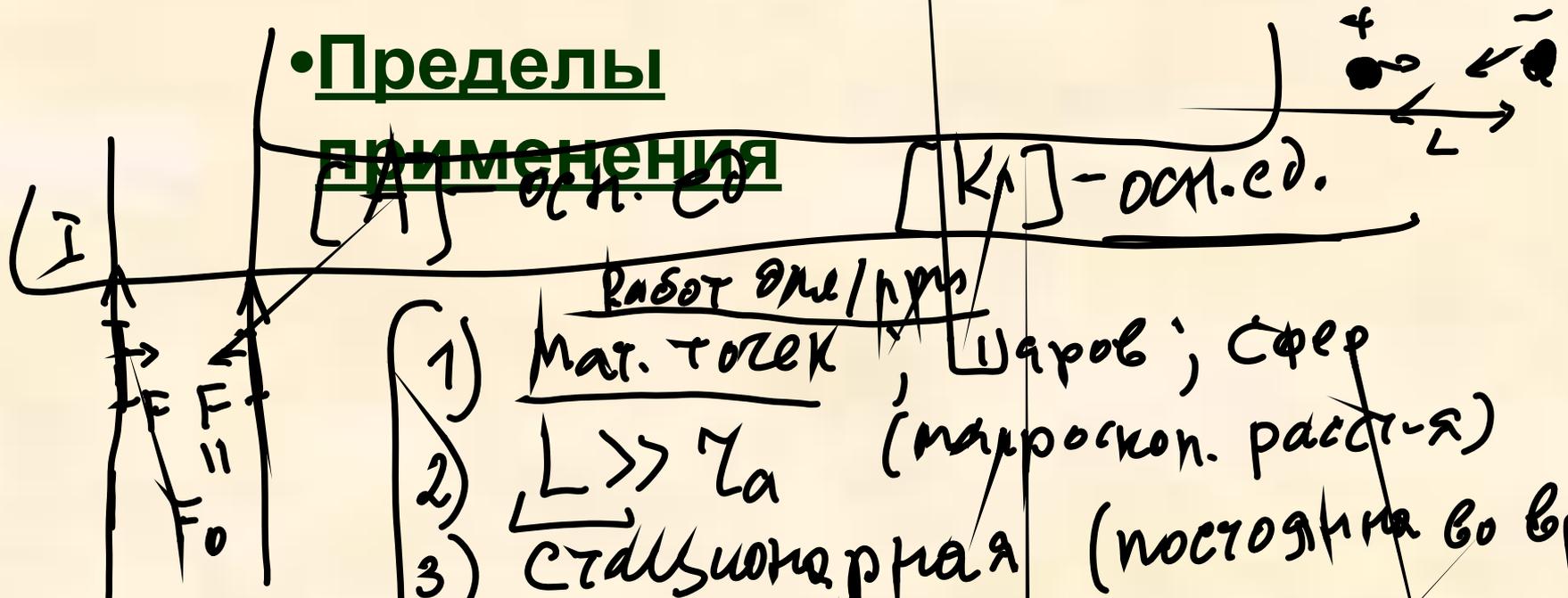
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ,  
 $r$  – расстояние между точечными зарядами.

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$   
( $\epsilon$  – диэл. пр-ть диэлектрика)

$\epsilon = \frac{F_{вак}}{F_{дл}} = \frac{E_{вак}}{E_{дл}}$  безразмерна

• Пределы применения



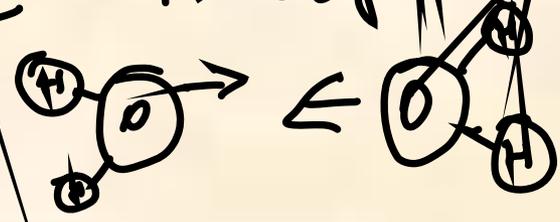
$\epsilon_0$  - осн. ед.  $[K]$  - осн. ед.

Работы Эме/лун

- 1) Мат. точек, Шаров; Сфер
- 2)  $L \gg \lambda_a$  (микроскоп. расст-я)
- 3) Стационарная (постоянна во времени)  
"квазистационарность"

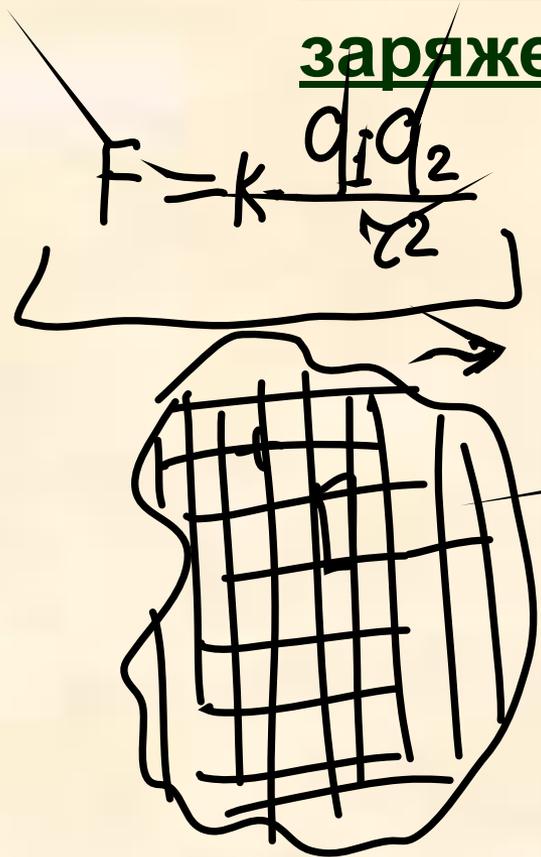
$\epsilon = \epsilon(\gamma; \lambda) -$

- 4) Однородная среда; изотропная
- $\lambda_a \rightarrow$  Тензора (комплексные  $\lambda_a$ )

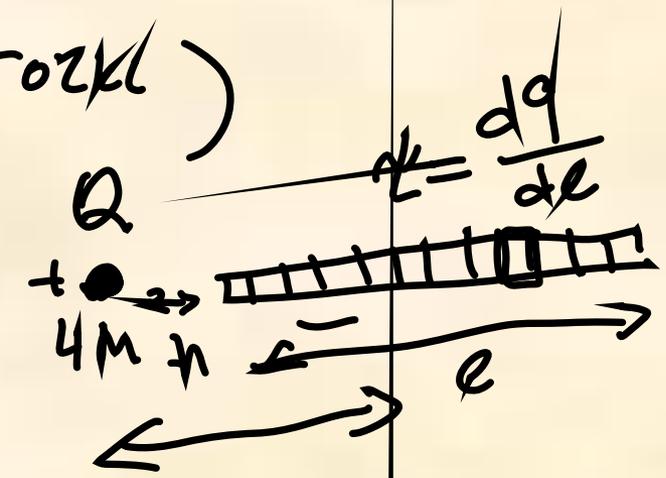


"водородные связи"  
Van-Deer Waals силы.

•Обобщение для протяженных заряженных тел



\* (1) мат. точка )



$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$

Def  
 $\rho = \frac{dq}{dV}$   
 $\rho = \frac{dq}{dV} \left[ \frac{C}{m^3} \right]$

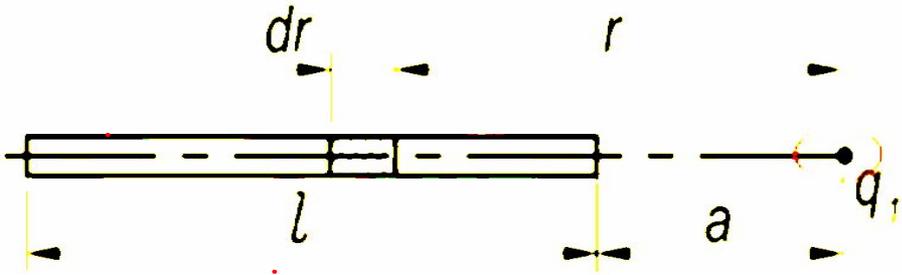
$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \left( \frac{l}{l+h} \right)$

$\sigma = \frac{dq}{dS} \left[ \frac{C}{m^2} \right]$

## Применение закона Кулона для неточечных заряженных тел

Рассмотрим это на примере решения задачи.

**Задача.** Тонкий прямой стержень длиной 10 см равномерно заряжен с линейной плотностью заряда 1 нКл/см. На продолжении оси стержня, на расстоянии 20 см от ближайшего конца, находится точечный заряд 20 нКл. Определить силу взаимодействия стержня и точечного заряда.



**Закон Кулона для участка стержня**

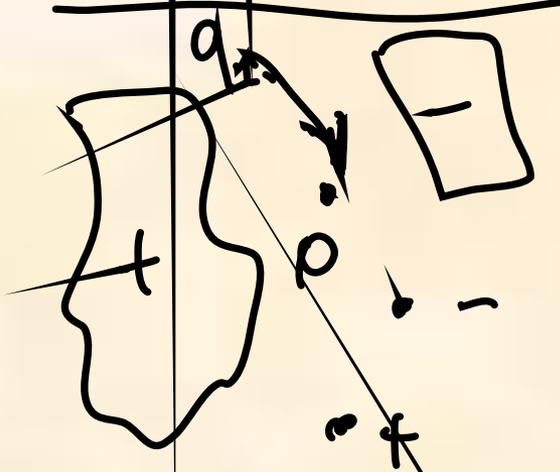
$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 dq}{\epsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \tau dr}{\epsilon r^2}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \tau}{\epsilon} \int_a^{a+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) =$$
$$= \frac{q_1 \tau}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{l}{(a+l)}$$

$$\frac{1}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-7} \cdot 0,1}{1 \cdot (0,2 + 0,1) \cdot 0,2} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$$

# Напряжённость эл. поля (силовая х-ка)



**Def) Пробный заряд:  $q_1 \neq q_{пр}$**   
 1) + 2)  $\Delta$  3) точечный  $r_0 \rightarrow 0$

**Def) Напр-ть эл. поля**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_q}{q_1} \quad \left[ \frac{H}{Kл} \right] = \left[ \frac{B}{M} \right]$$

Работая ф-ла:  $q_{пр} \cdot \{ F_{пр} = E \cdot q_{пр} \}$

**\*  $E$  - силовая х-ка поля, в данной точке.**



$\vec{D}$  — вектор электростатической индукции (ЭЛ-СТ-е смещение)

$$\sigma = \frac{dq}{ds} \left[ \frac{C}{m^2} \right]$$

$D = \epsilon \epsilon_0 E$

$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$



$\left[ \frac{C \cdot m}{m^2} \right]$

$P \left[ \frac{C}{m} \right]$

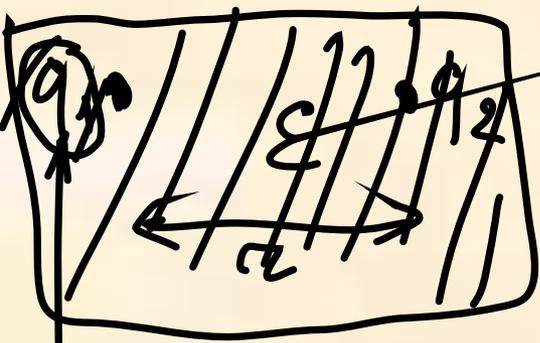


$D = \text{const}$

$$\begin{cases} D_1 = \epsilon_1 \epsilon_0 E_1 \\ D_2 = \epsilon_2 \epsilon_0 E_2 \end{cases}$$

$E_1 \Delta h_1 = E_2 \Delta h_2$

$\epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2$



пробн. заряд.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r_{12}^2}$$

$$E = \frac{F_1}{q_1} = k \frac{q_2}{\epsilon r_{12}^2}$$

$$*) E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

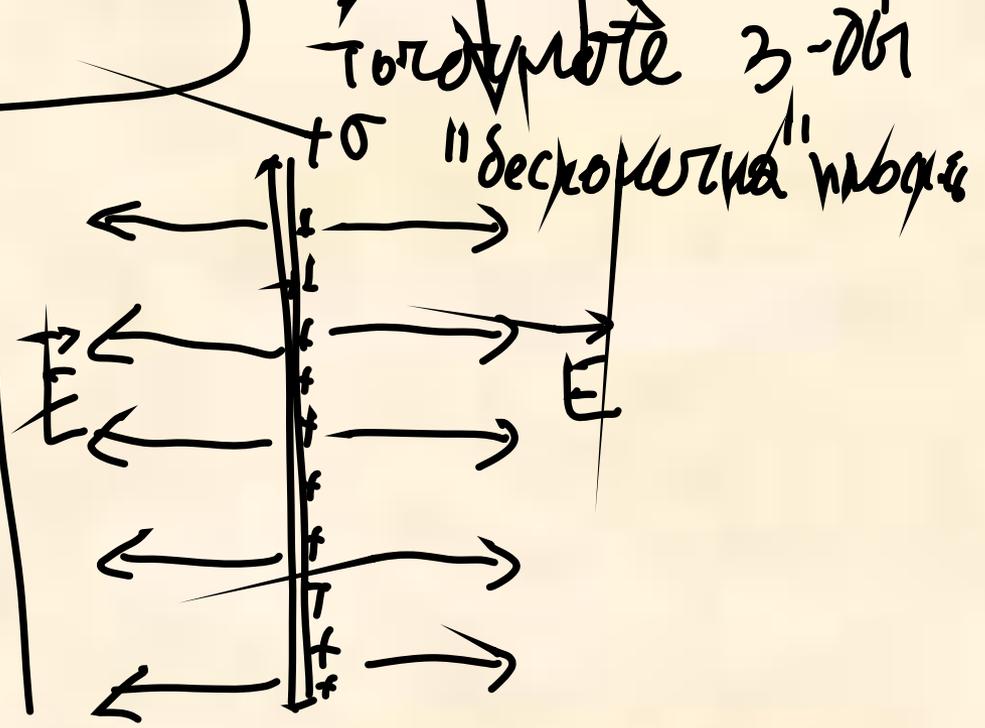
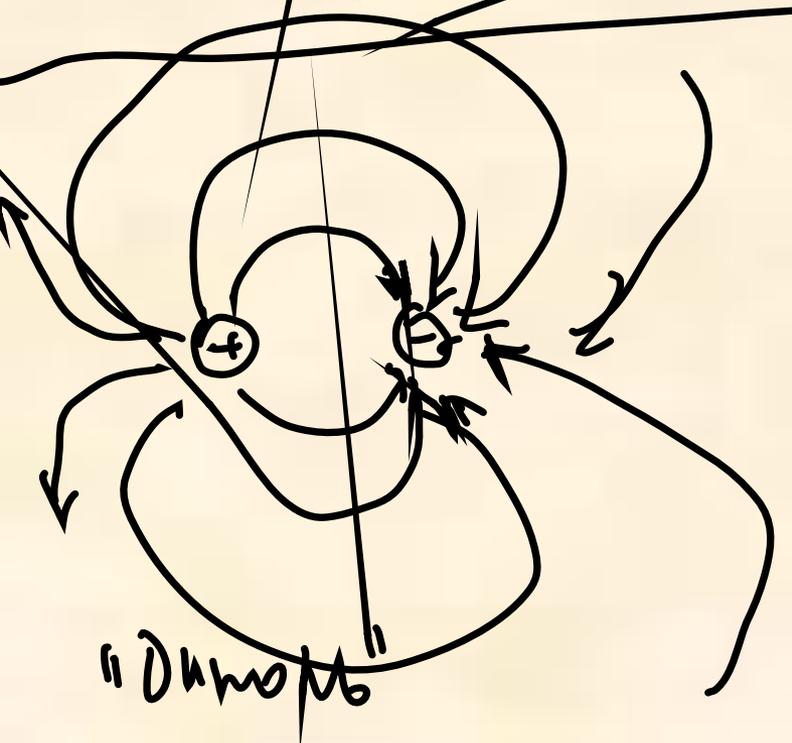
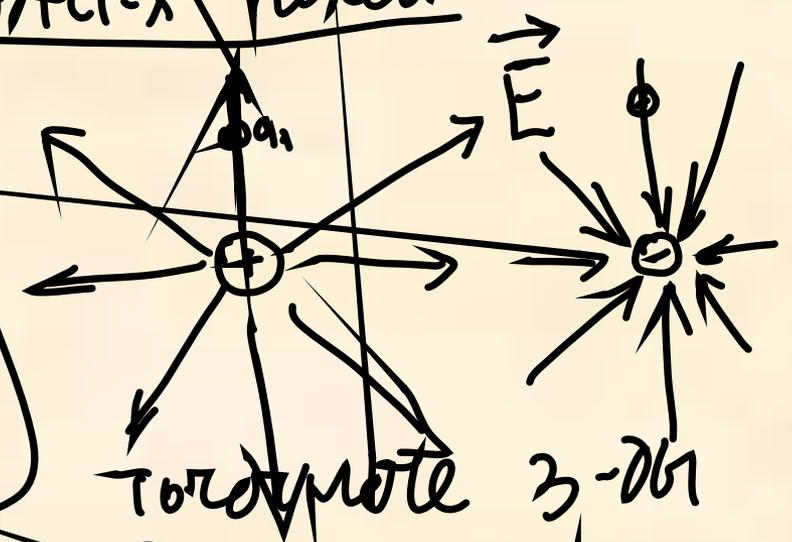
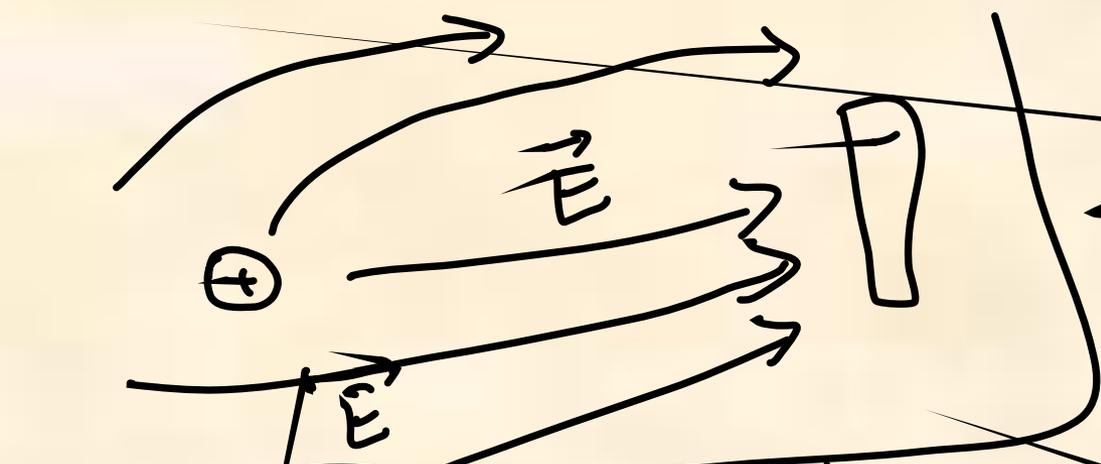
(V) Напр. поля, созд. точечным зарядом

$$D = \epsilon \epsilon_0 \cdot E = \epsilon \epsilon_0 \cdot k \frac{q}{r^2} = \epsilon_p \frac{kq}{r^2}$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \Rightarrow \vec{D} \parallel \vec{E}$$

$$\vec{D}_2 = \sum_{i=1}^N \vec{D}_i \quad - \text{пр-н суперпозиции}$$

Графическое предст-е эл-ст-х полей

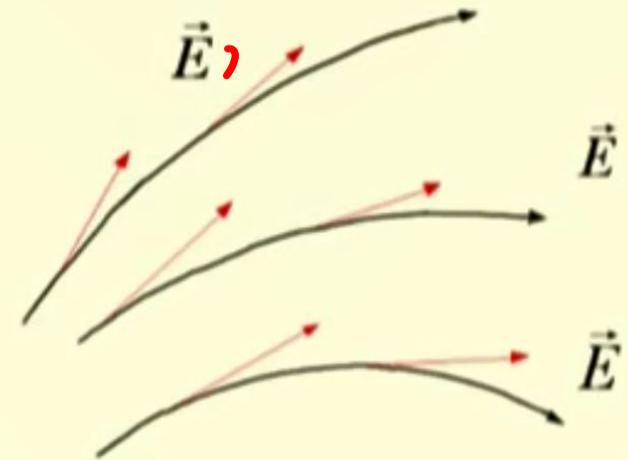


тождество 3-дбл  
"бесконечная" плоскость

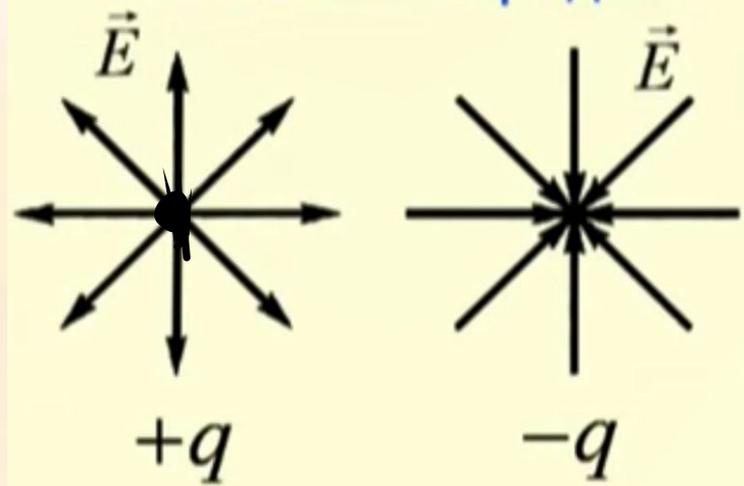
## Графическое изображение электростатических полей

Линии напряжённости электрического поля – это такие линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением векторов напряжённости  $\vec{E}$

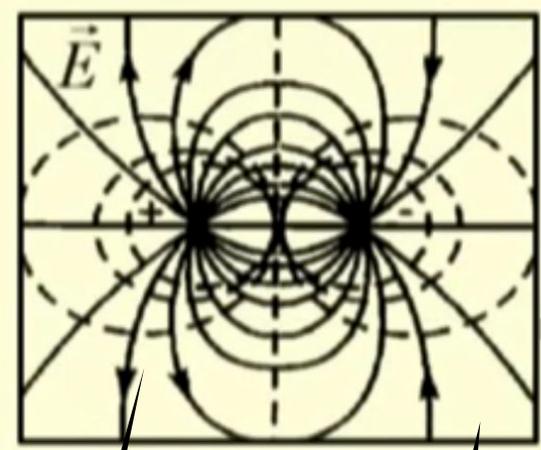
## Линии напряжённости



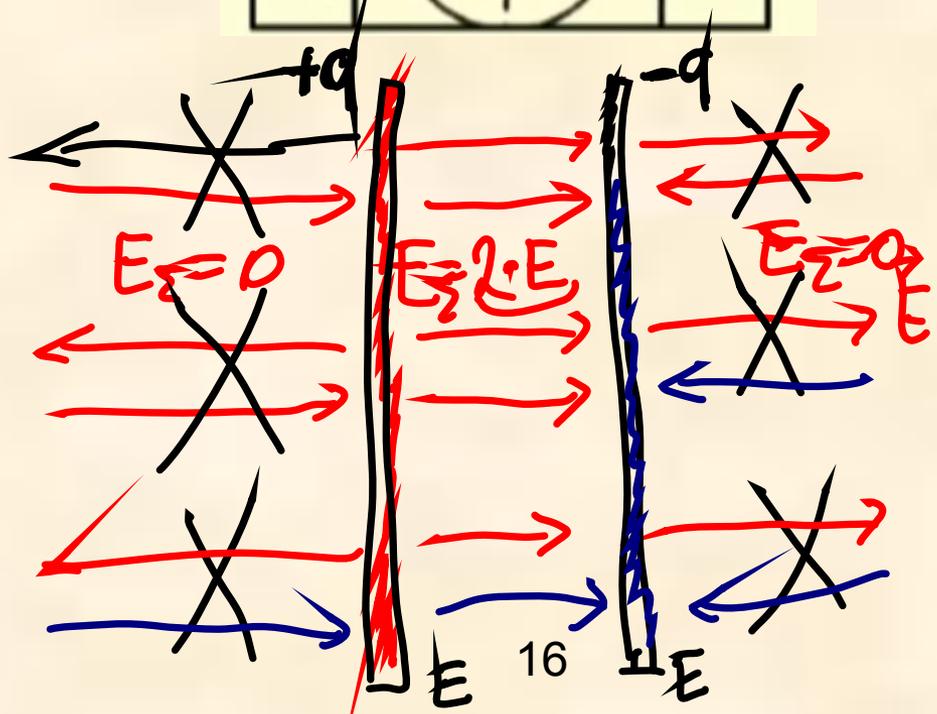
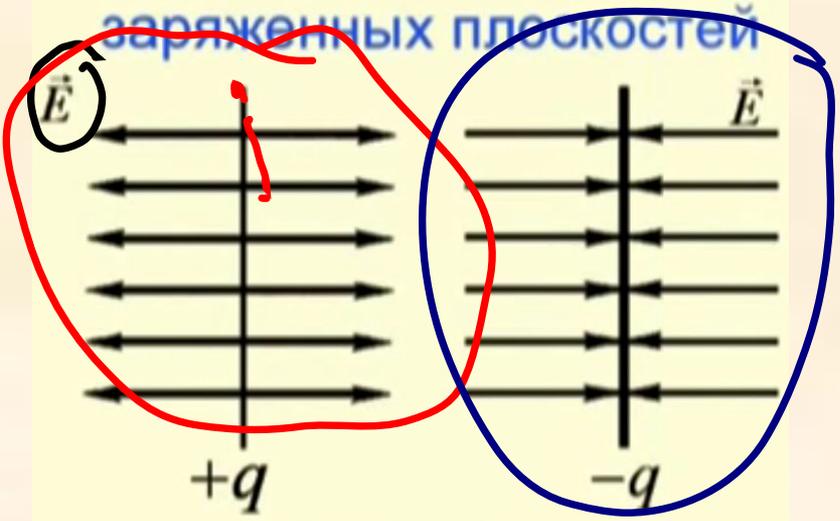
Линии напряжённости  
точечных зарядов



Электростатическое  
поле диполя

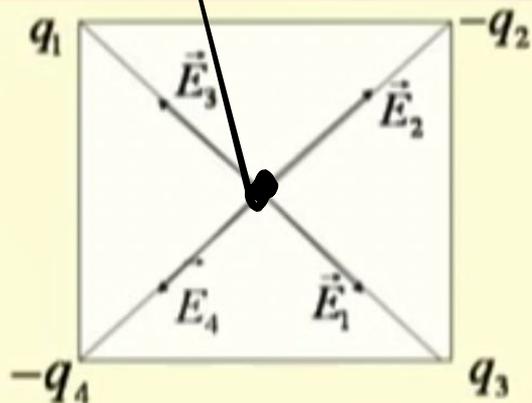


Однородное поле вблизи  
заряженных плоскостей



# Принцип суперпозиции

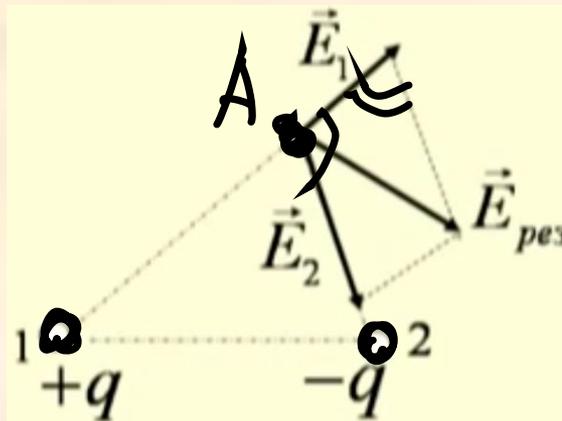
Пример.



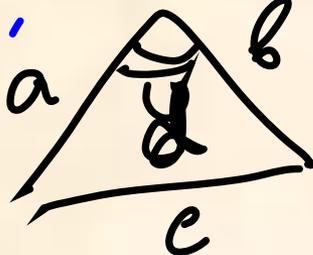
Согласно принципу суперпозиции

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4.$$

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4. \quad E_{рез} = 0.$$

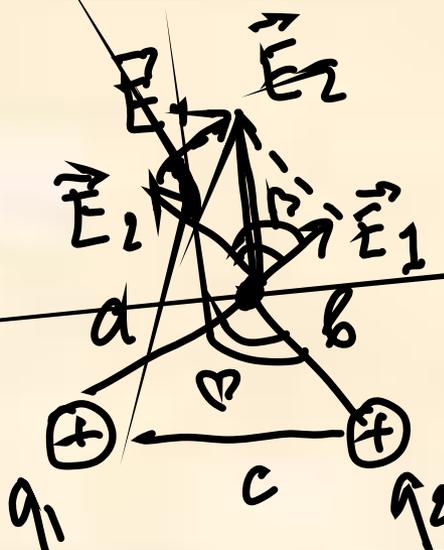


$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{c^2 - a^2 - b^2}{-2ab}$$



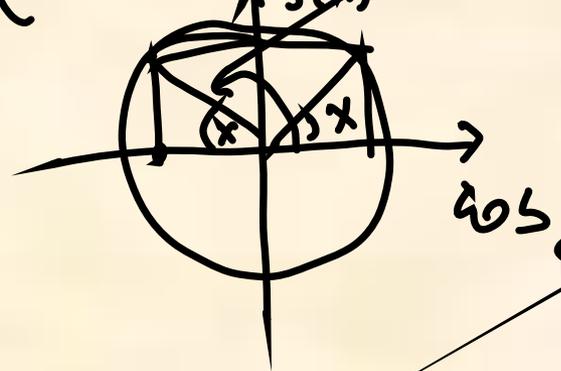
$$E_{\Sigma} = E?$$

$$E_{\Sigma}^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 E_2 \cos \alpha$$

$$\cos \beta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

$$\cos(180^\circ - \beta) = -\cos \beta$$

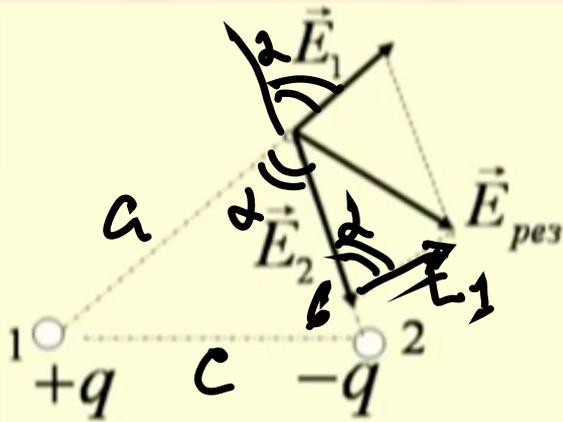
\*  $(\alpha + \beta = \pi; \alpha = \pi - \beta)$



$$E_{\Sigma}^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \beta$$

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

**Пример задачи: Найти поле E, создаваемого двумя точечными зарядами**



Дано:

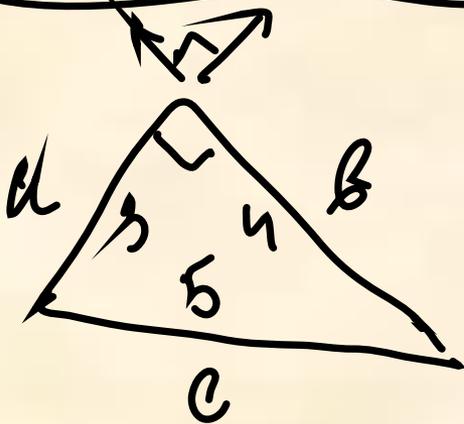
Найти:

Решение:

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

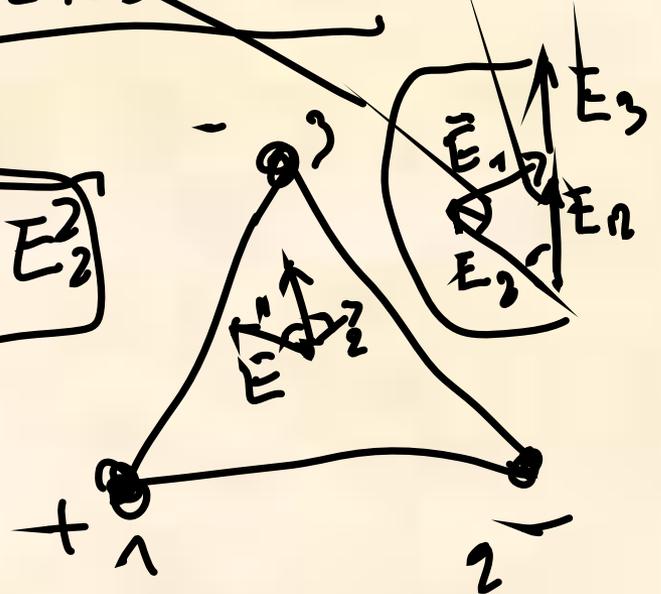
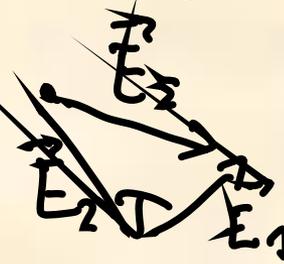
~~$$E_3^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cdot \cos \alpha$$~~

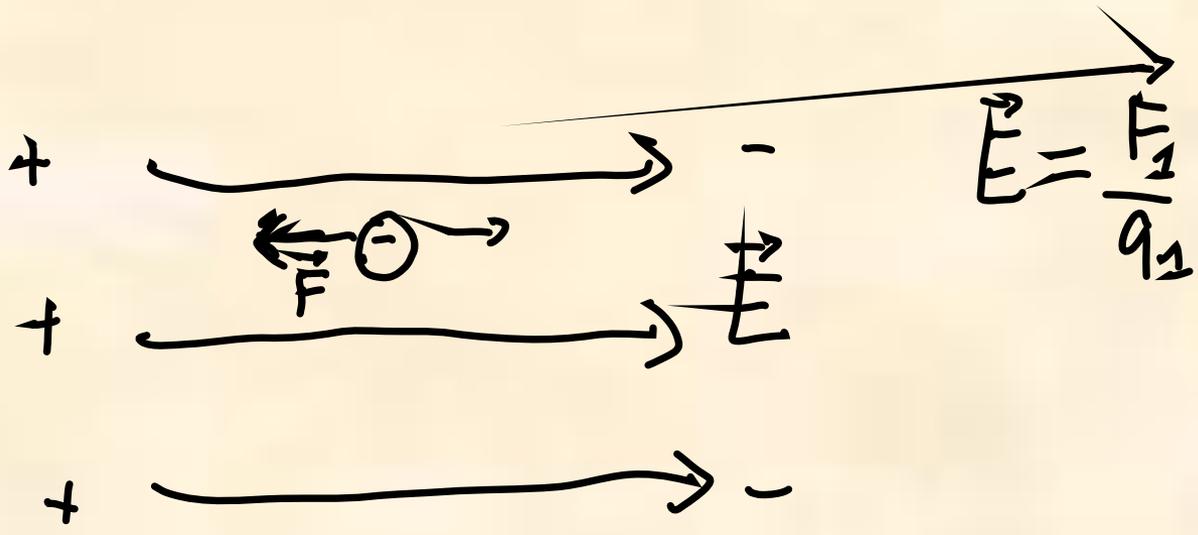
$$\cos \alpha = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$



$$E_3 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

$$E_3 = 2E_1$$





$$\vec{F} = -e\vec{E}$$

