



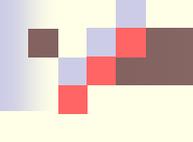
# ***Лекция № 1***

***Постникова Екатерина Ивановна***, доцент кафедры  
теоретической и экспериментальной физики

# **Электростатика**

## *Содержание лекции:*

- **Электрический заряд и его свойства**
- **Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона**
- **Электростатическое поле.**
- **Напряженность электростатического поля**

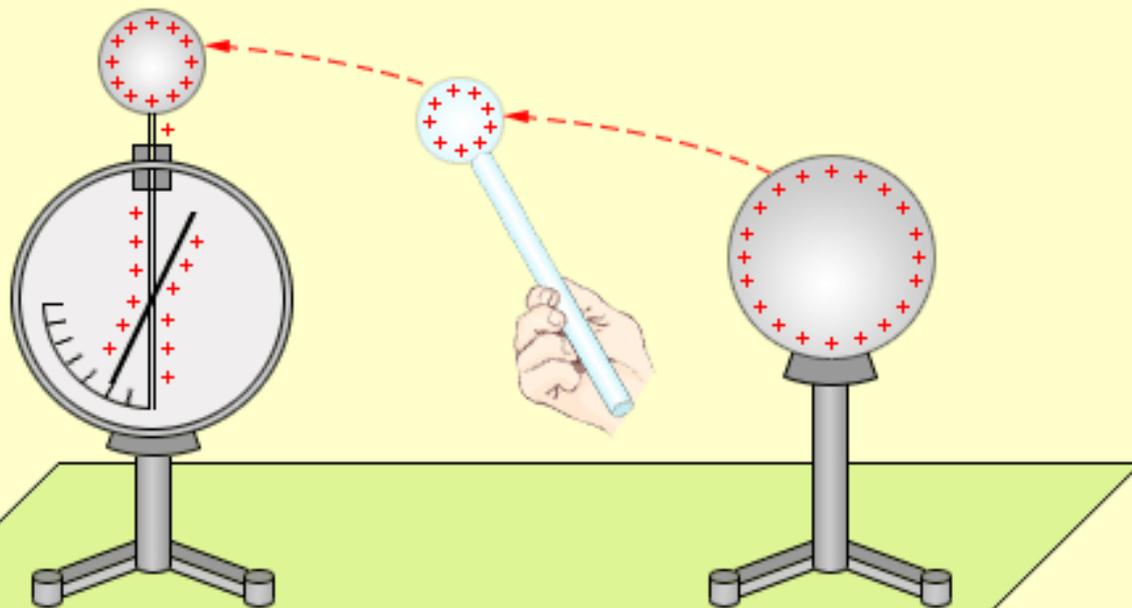


*Электрический заряд* – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.

Обозначение –  $q$  или  $Q$ ,  
единица измерения – *Кулон (Кл)*.

# Свойства электрических зарядов

**Взаимодействие зарядов:** разноименно заряженные тела притягиваются, одноименно заряженные – отталкиваются.

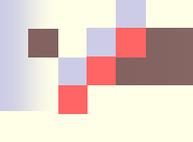


**Электромметр** – прибор для обнаружения и измерения электрических зарядов

**Дискретность заряда:** электрический заряд любой системы тел состоит из целого числа элементарных зарядов ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл)

С современной точки зрения, носителями зарядов являются **элементарные частицы**. **Протоны** и **нейтроны** входят в состав атомных ядер, **электроны** образуют электронную оболочку атомов. Электрические заряды протона и электрона по модулю в точности одинаковы и равны элементарному заряду  $e$ .

$$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

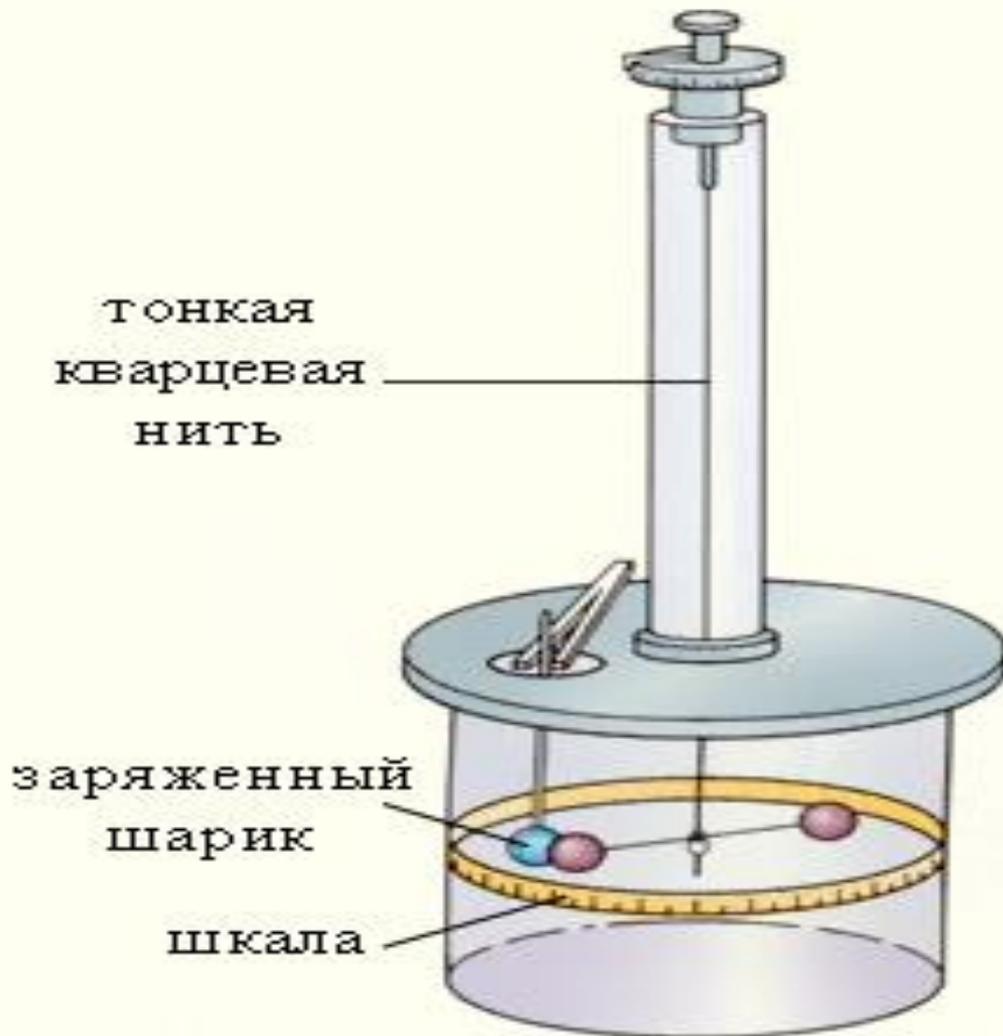


**Закон сохранения заряда:** алгебраическая сумма электрических зарядов тел или частиц, образующих электрически изолированную систему, не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе.

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

**Инвариантность заряда** : электрический заряд является релятивистски инвариантным — его величина не зависит от системы отсчета.

# Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона



Крутильные весы с чрезвычайно высокой чувствительностью (например, коромысло весов поворачивалось на  $1^\circ$  под действием силы порядка  $10^{-9}$  Н).

# Шарль Огюстен де Кулон

(14.06.1736 - 23.08.1806)



Французский военный инженер и учёный-физик, исследователь электромагнитных и механических явлений; член Парижской Академии наук.

*Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними :*

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

- закон Кулона  
для вакуума

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  – численный коэффициент, значение которого определяется системой единиц

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \quad (\text{в СИ}), \quad k = 1 \quad (\text{СГС})$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2$  (Ф/м) – электрическая постоянная

$r$  – расстояние между зарядами

***Точечный заряд*** ( $q$ ) – наэлектризованное тело, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других тел, с которыми оно взаимодействует.

Если заряды находятся в непроводящей среде, то сила взаимодействия между ними по сравнению с вакуумом уменьшается в  $\varepsilon$  раз.

$\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, показывает во сколько раз сила взаимодействия зарядов в вакууме превышает силу взаимодействия их в среде, т.е.

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$$

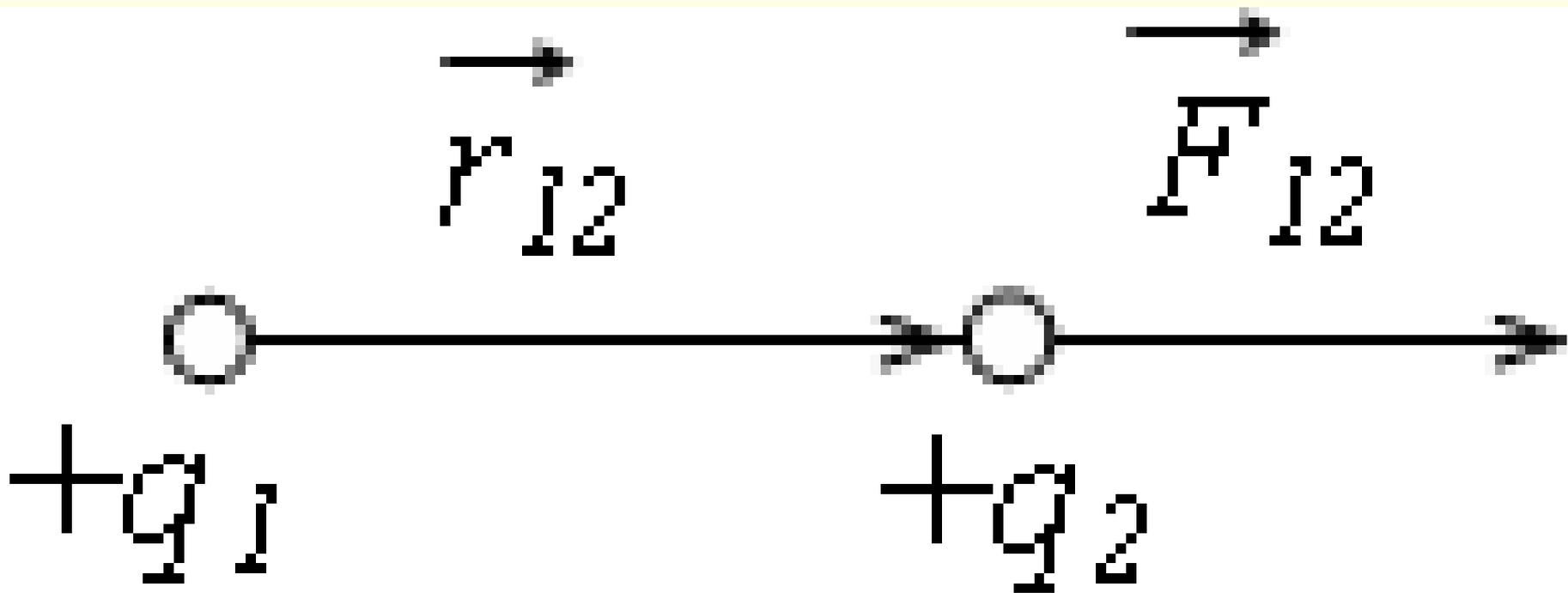
Тогда

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r^2}.$$

В векторном виде:

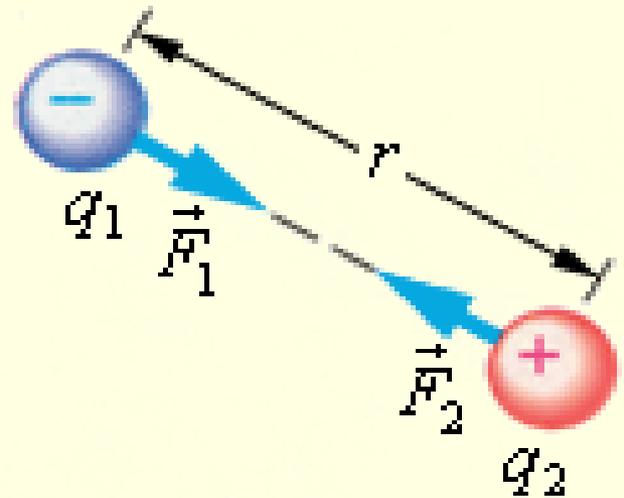
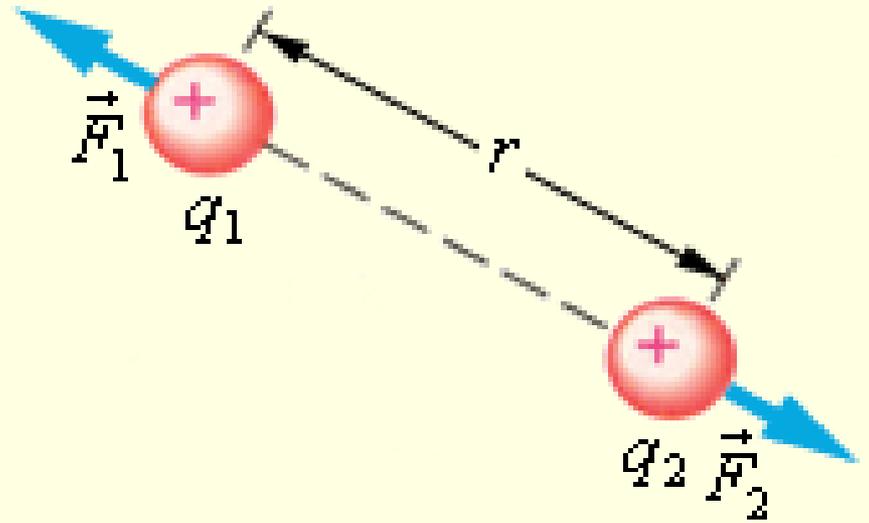
$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r_{12}^3} \cdot \vec{r}_{12},$$

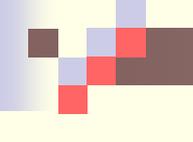
$\vec{r}_{12}$  — радиус-вектор, проведенный от заряда  $q_1$  к  $q_2$ .



$\vec{F}_{12}$  - сила, действующая на заряд  $q_2$   
со стороны заряда  $q_1$ .

Взаимодействие зарядов подчиняется *третьему закону Ньютона*: силы взаимодействия между зарядами равны по величине и направлены противоположно друг другу вдоль прямой, связывающей эти заряды



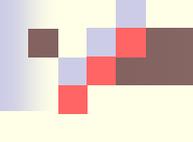


# **Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля**

Вокруг электрического заряда возникает *электрическое поле*.

Основное свойство *электрического поля* заключается в том, что на всякий другой заряд, помещенный в это поле, действует сила.

Отсюда следует, что *электрическое поле* — особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами.



Электрическое поле *неподвижных* электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними, называется **электростатическим полем**.

Силы, действующие на заряды со стороны электростатического поля, называются **электростатическими силами**.

Обнаружить электрическое поле удобно по его силовому действию на помещенный в поле **неподвижный** электрический заряд.

Количественной характеристикой силового действия электрического поля на заряженные частицы и тела служит векторная величина  $\vec{E}$  - напряженность электрического поля.

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

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \text{ или } \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

За единицу напряженности электрического поля принимается напряженность в такой точке, в которой на заряд, равный 1 кулону, действует сила равная 1 Н. Эта единица имеет название «вольт на метр».

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r_{12}^3} \cdot \vec{r}_{12} = \frac{q_1}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r_{12}^3} \vec{r}_{12} \cdot q_2$$

$$\vec{E} = \frac{q_1}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r_{12}^3} \vec{r}_{12} = \frac{\vec{F}_{12}}{q_2}$$

**Напряженность электрического поля** равна отношению силы, действующей со стороны поля на неподвижный точечный пробный заряд, помещенный в рассматриваемую точку поля, к этому заряду.

# Напряженность поля точечного заряда

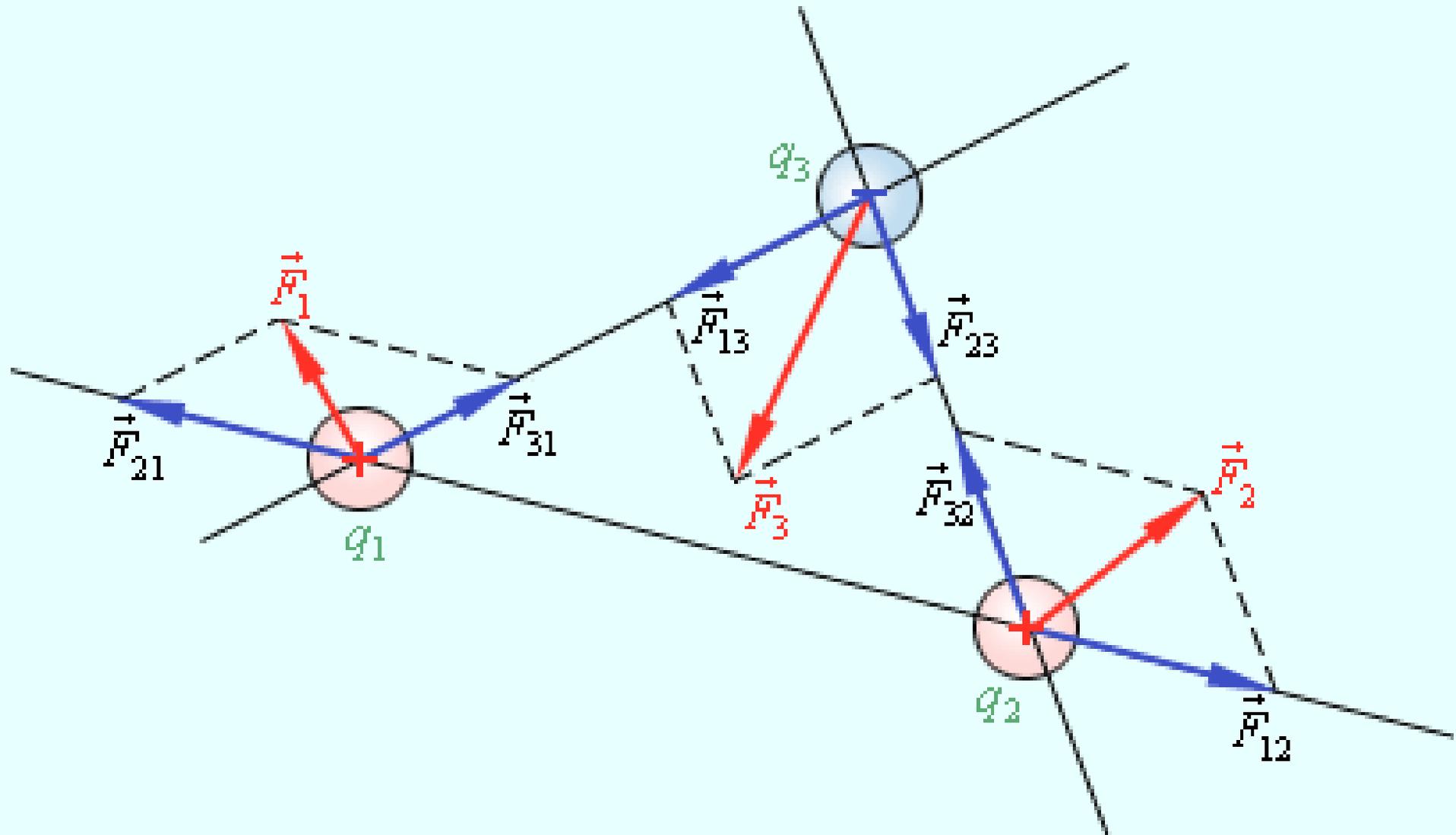
$$E = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon \cdot r^2}$$

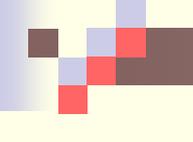
Направление вектора напряженности зависит от знака заряда  $Q$ : если  $Q > 0$ , то вектор направлен по радиусу от заряда, если  $Q < 0$ , то вектор направлен к заряду.

# Принцип суперпозиции

Если заряженное тело взаимодействует одновременно с несколькими заряженными телами, то результирующая сила, действующая на данное тело, равна векторной сумме сил, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.

$$\vec{F} = \sum_k \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_k}{r_k^2} \frac{\vec{r}_k}{r_k} = \sum_k \vec{F}_k$$

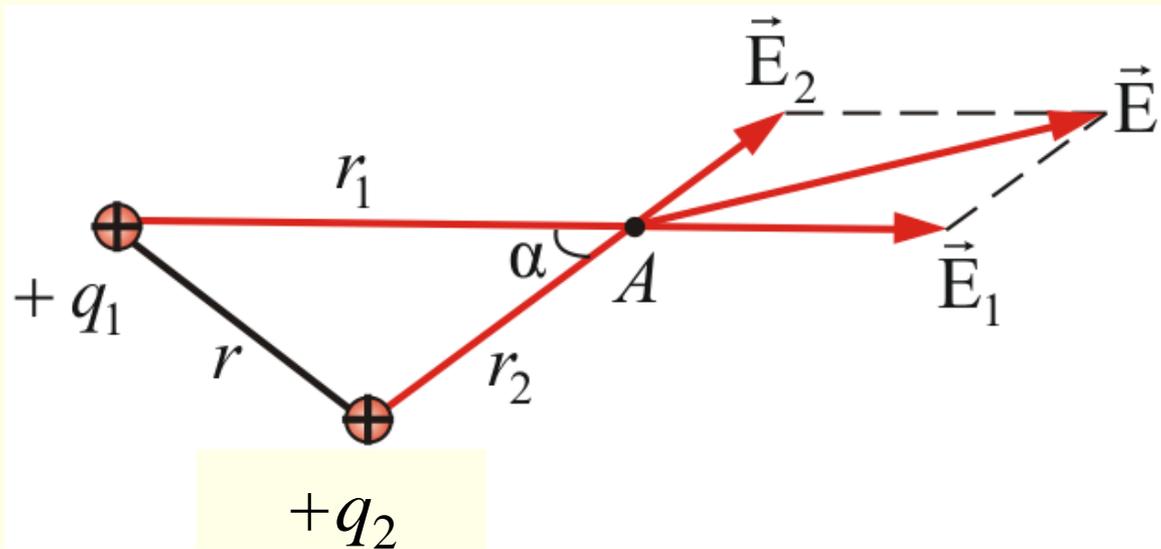




Вектор напряженности электрического поля системы зарядов равен векторной сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов в отдельности

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

Поле создается в точке  $A$ , двумя положительными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ ,  $r_1$  и  $r_2$  - расстояния от искомой точки до зарядов. Как найти напряженность поля  $E$ ?,



$$E_1 = \frac{q_1}{4 \pi \epsilon_0 r_1^2}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_2^2}$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2 E_1 E_2 \cos \alpha} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4} + \frac{2 q_1 q_2}{r_1^2 r_2^2} \cos \alpha},$$

Если поле создается *не точечными зарядами*:  
тело разбивают на бесконечно малые элементы,  
определяют напряженность поля создаваемого  
каждым элементом, затем интегрируют по  
всему телу:

$$\vec{E} = \int d\vec{E},$$

где  $d\vec{E}$  — напряженность поля,  
обусловленная заряженным элементом.  
Интеграл может быть, в зависимости от  
условий задачи, линейным, поверхностным или  
объемным.

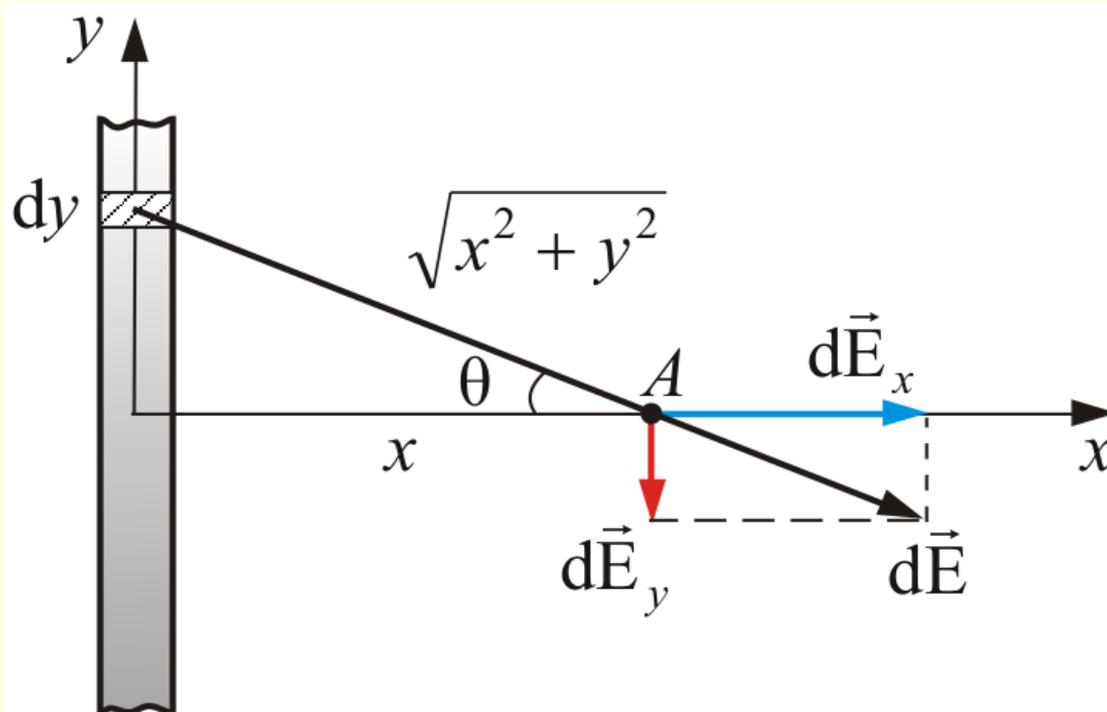
Для решения подобных задач вводятся  
различные плотности заряда:

$\lambda = dq / dl$  — **линейная** плотность заряда,  
размерность Кл/м;

$\sigma = dq / dS$  — **поверхностная** плотность  
заряда размерность Кл/м<sup>2</sup>;

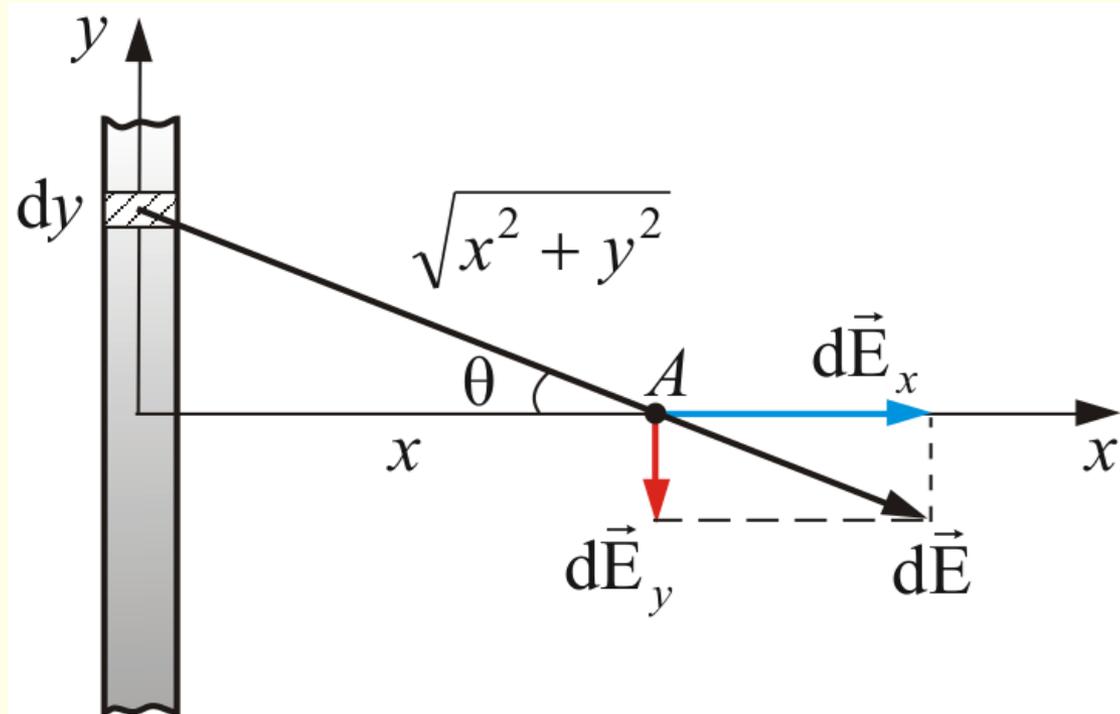
$\rho = dq / dV$  — **объемная** плотность  
заряда, размерность  
Кл/м<sup>3</sup>.

**Пример:** определим напряженность электрического поля в точке  $A$  на расстоянии  $x$  от бесконечно длинного, линейного, равномерно распределенного заряда. Пусть  $\lambda$  – заряд, приходящийся на единицу длины.



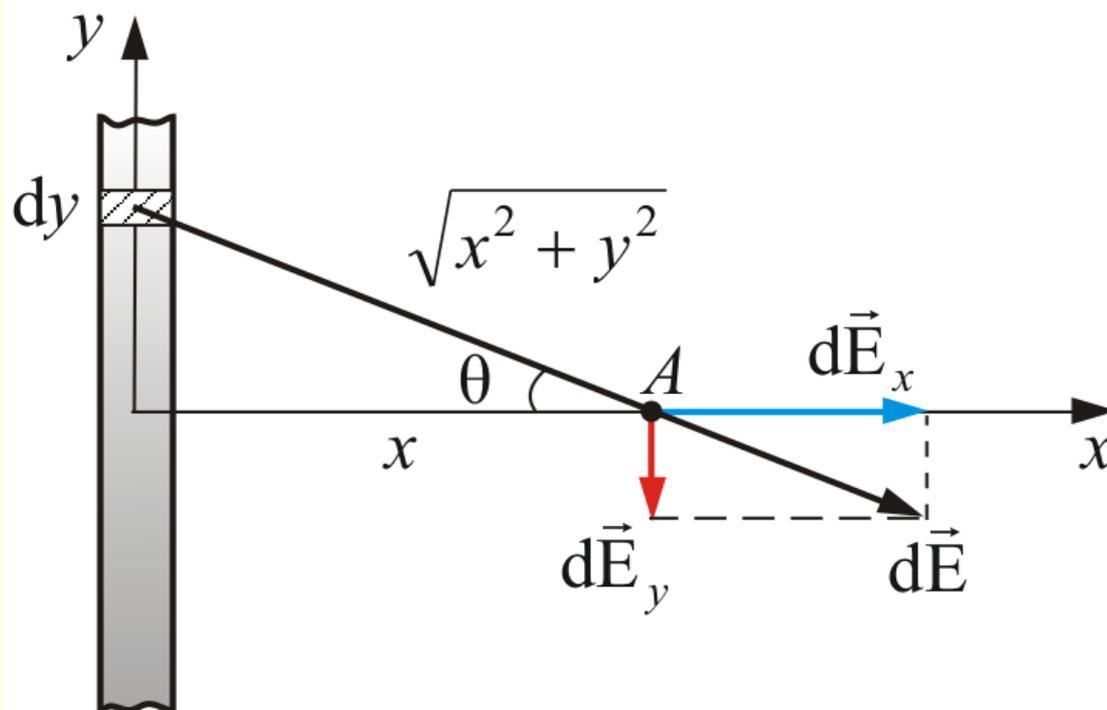
Считаем, что  $x$  – мало по сравнению с длиной проводника. Выберем систему координат так, чтобы ось  $y$  совпадала с проводником. Элемент длины  $dy$ , несет заряд  $dq = \lambda dy$ .

Создаваемая этим элементом напряженность электрического поля в точке  $A$ :



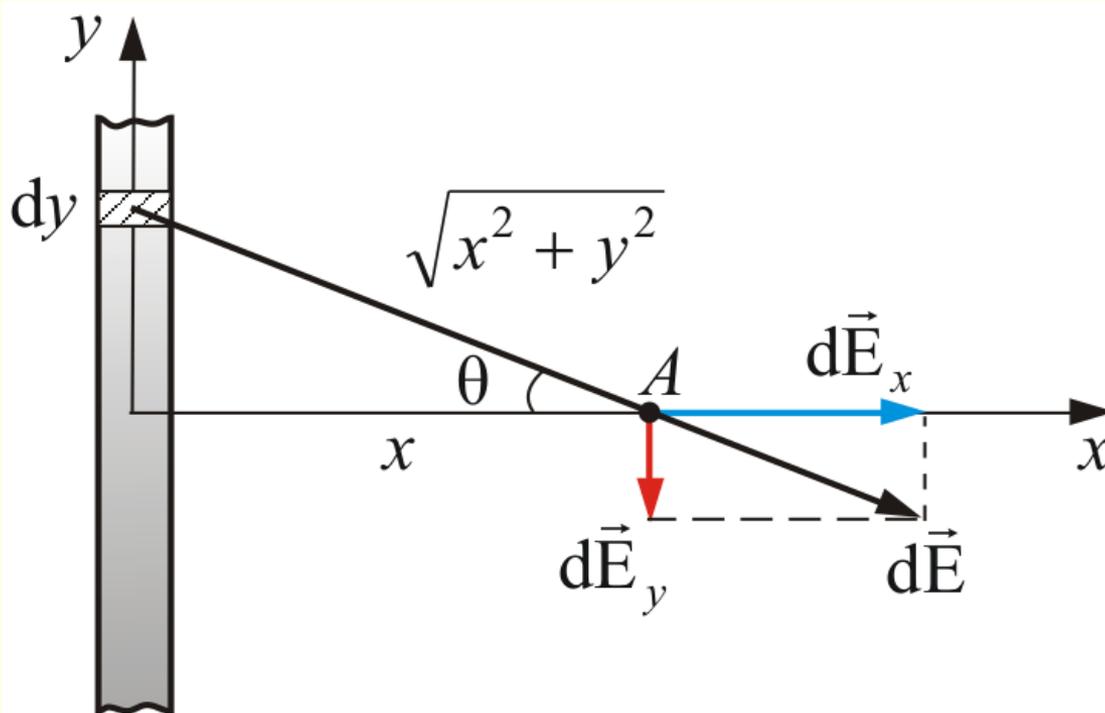
Создаваемая этим элементом напряженность электрического поля в точке  $A$ :

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$



Вектор  $d\vec{E}$  имеет проекции  $dE_x$  и  $dE_y$ ,  
причем  $dE_x = dE \cos \theta$ ;  $dE_y = dE \sin \theta$ .

· Т.к. проводник бесконечно длинный, а задача симметричная, то  $y$  – компонента вектора  $d\vec{E}$  обратится в ноль (скомпенсировается), т.е.  $E_y = \int dE \sin \theta = 0$



Тогда  $E = E_x = \int dE \cos \theta = \frac{\lambda}{4 \pi \epsilon_0} \int \frac{\cos \theta dy}{x^2 + y^2}$

Теперь выразим  $y$  через  $\theta$ . Т.к.  $y = x \operatorname{tg} \theta$ , то

$dy = x d\theta / \cos^2 \theta$  И  $(x^2 + y^2) = x^2 / \cos^2 \theta$

ТОГДА

$$E = \frac{\lambda}{4 \pi \epsilon_0} \frac{1}{x} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta = \frac{\lambda}{2 \pi \epsilon_0 x}.$$

