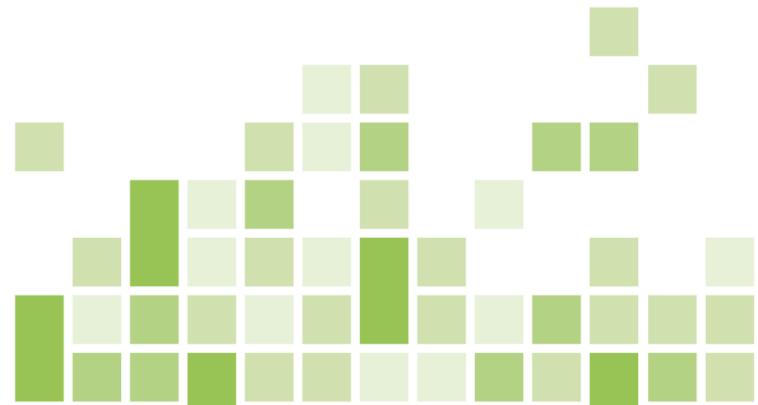




TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY



## Физика 2.1 – Электричество и магнетизм

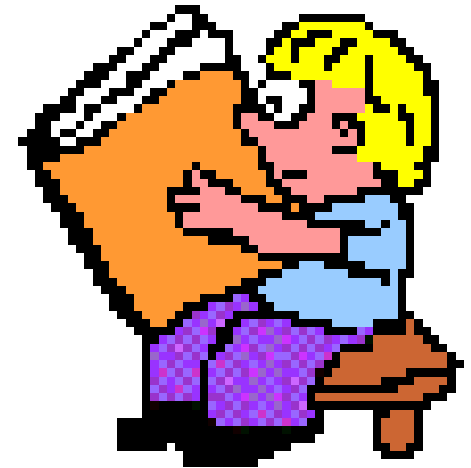
Распопова Наталья Ивановна  
к.ф.-м.н., доцент ИШФВП НИ ТПУ

| <b>Оценивающие мероприятия</b> | <b>Кол-во</b> | <b>Баллы</b> |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| Работа в эл. Курсе (тесты)     | 1             | 6            |
| Выполнение лабораторных работ  | 6             | 12           |
| Контрольная работа             | 2             | 10           |
| Защита ИДЗ                     | 2             | 12           |
| Коллоквиум                     | 2             | 20           |
| Независимый контроль ЦОКО      | 2             | 20           |
|                                |               | <b>80</b>    |

| <b>Доп. оценивающие мероприятия</b>    | <b>Кол-во</b> | <b>Баллы</b> |
|--|---------------|--------------|
| Реферат                                | 1             | 3            |
| Выступление с докладом                 | 1             | 4            |
| Выполнение лабораторной работы МодЭ-03 | 1             | 3            |
|  |               | <b>10</b>    |

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ***Сивухин Д.Е.*** Общий курс физики. Том 3.
2. ***Савельев И.В.*** Курс общей физики  
В 5 или 3 томах.
3. ***Детлаф А.А., Яворский Б.М.*** Курс физики
4. ***Трофимова Г.И.*** Курс физики.



# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

# 1. Электростатическое поле в вакууме

**Электростатика** – раздел физики, изучающий взаимодействие и свойства систем неподвижных электрических зарядов.

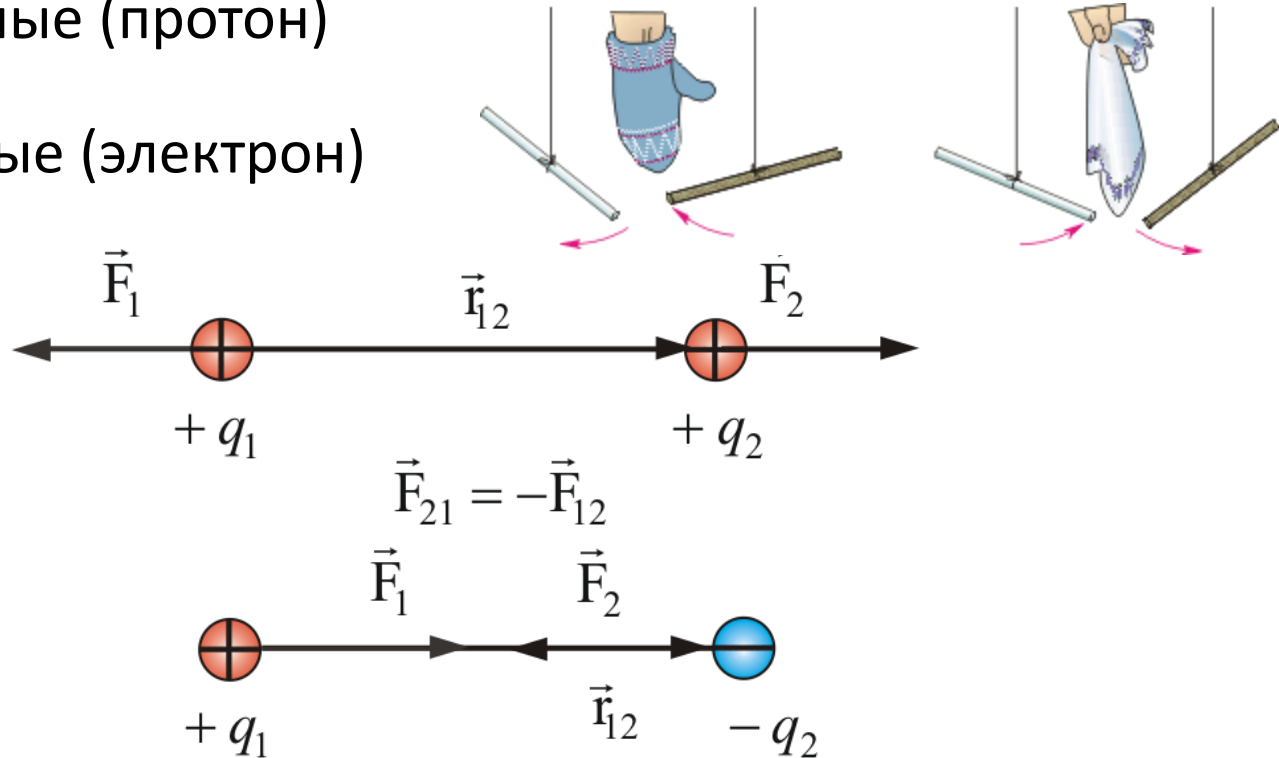


**Электрический заряд** – источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем.

# Свойства электрических зарядов

1. В природе существуют **2 рода электрических зарядов:**

- положительные (протон)
- отрицательные (электрон)



Между одноименными электрическими зарядами действуют силы отталкивания, а между разноименными – силы притяжения.

# Свойства электрических зарядов

## 2. *Закон квантования заряда.*

- *Электрический заряд дискретен.*
- *Заряд любого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда .*

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$q = \pm ne$$

$$1 \text{ Кл} = 6,25 \cdot 10^{18} e.$$

# Свойства электрических зарядов

## 3. *Инвариантность заряда.*

- Значение заряда, измеряемое в различных инерциальных системах отсчета, оказывается одинаковым. Значение заряда не зависит от того, **движется** этот заряд или **покоится**.

## 4. *Закон сохранения заряда.*

- Суммарный заряд электрически изолированной системы не может изменяться

$$q = \sum_i^N q_i = Const$$

закона сохранения электрического заряда.



# Свойства электрических зарядов

Различные тела в классической физике в зависимости от концентрации свободных зарядов делятся на

- проводники,
- диэлектрики,
- полупроводники.

Единица электрического заряда в СИ [1 Кл] – электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника при силе тока **1 А** за время **1 с**.

$$q = I \cdot t.$$

## Закон Кулона – основной закон электростатики

Сила взаимодействия двух точечных зарядов пропорциональна величине каждого из зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$q_1, q_2$  – точечные заряды,

$r$  – расстояние между зарядами,

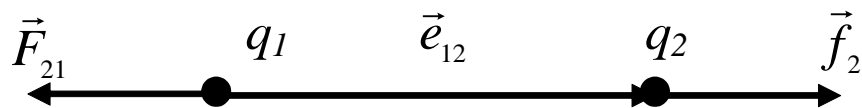
$k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от системы единиц.

**Точечным зарядом** называется заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями от этого тела до других тел

# Закон Кулона – основной закон электростатики

В векторной форме закон Кулона имеет вид:

$$\vec{f} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$



$$\vec{f}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_{12},$$

$\vec{e}_{12}$  – единичный вектор, направленный от заряда  $q_1$  к заряду  $q_2$ .

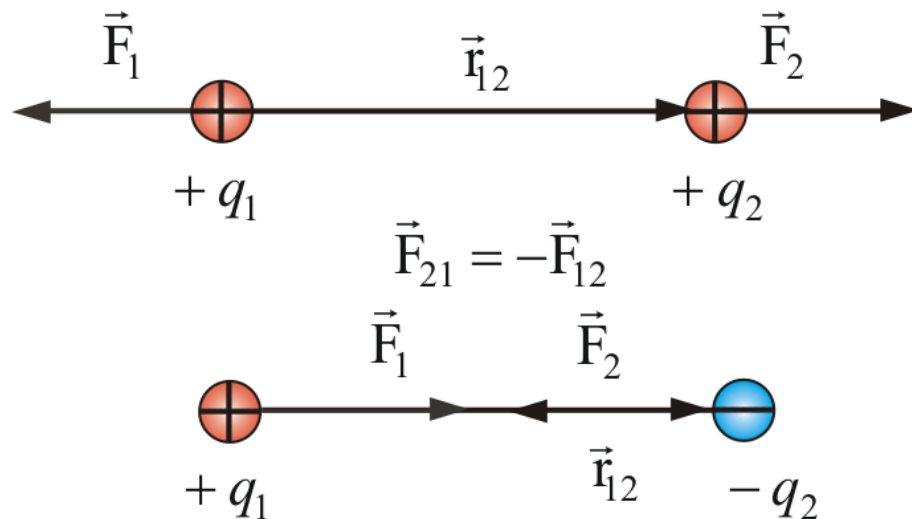
В системе СИ :

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

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная

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

## Закон Кулона – основной закон электростатики



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

$$10^{-15} \text{ м} < r < 10^7 \text{ м.}$$

# Электрическое поле.

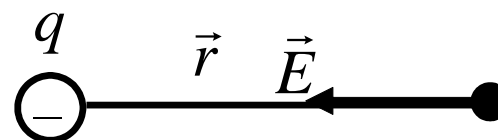
## Напряженность электрического поля

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

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

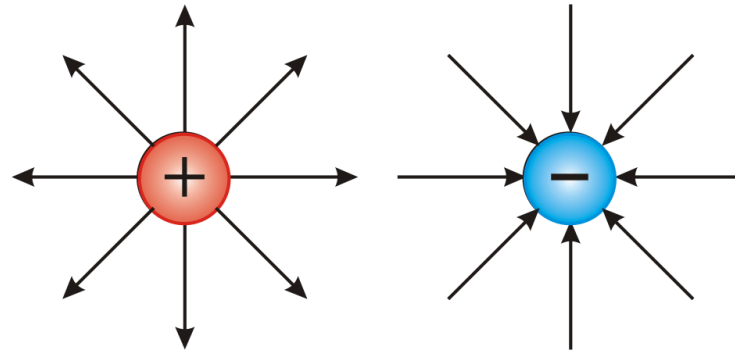
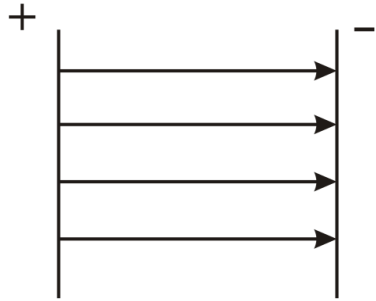
**Напряженность** – силовая характеристика электростатического поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{f}}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r,$$

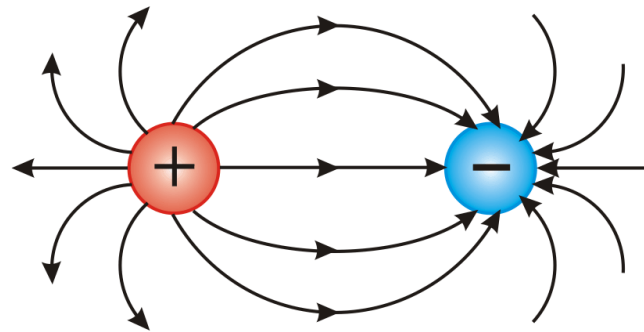


# Электрическое поле.

## Напряженность электрического поля



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



Напряженность электрического поля численно равна силе, с которой поле действует на единичный заряд в данной точке поля [ $\frac{B}{M}$ ].

## Принцип суперпозиции напряженности электрического поля

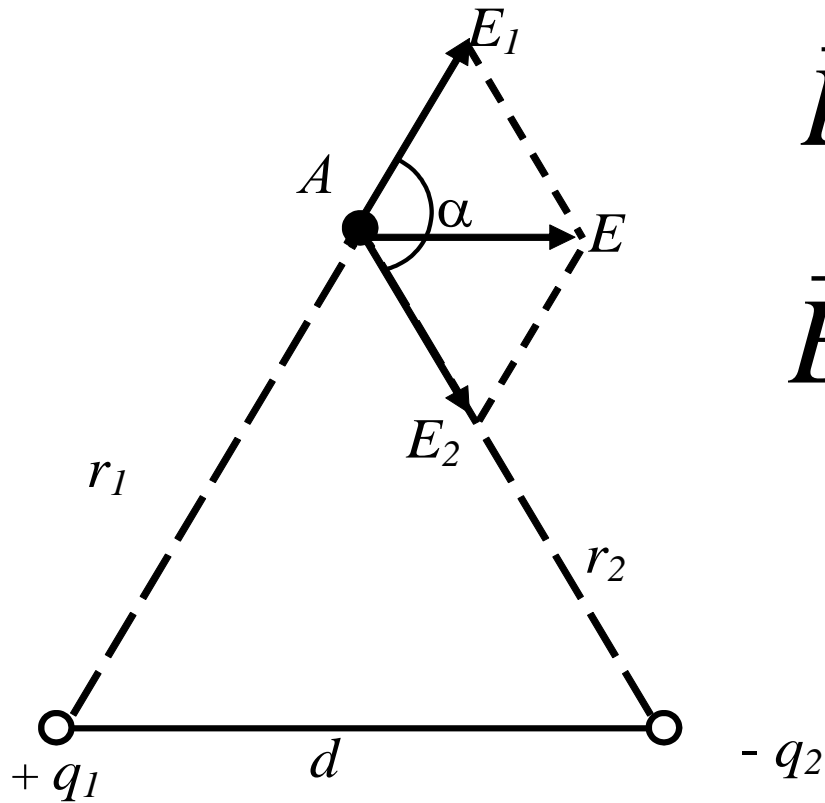
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

*принцип суперпозиции или независимости действия сил*

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

**Напряженность** результирующего поля, системы точечных зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, созданных в данной точке каждым из них в отдельности.

# Применение принципа суперпозиции к расчету полей



$\vec{E}_1$  – напряженность поля, создаваемая зарядом  $q_1$ , когда заряд  $q_2$  отсутствует.

$\vec{E}_2$  – напряженность поля, создаваемая зарядом  $q_2$ , когда заряд  $q_1$  отсутствует.

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

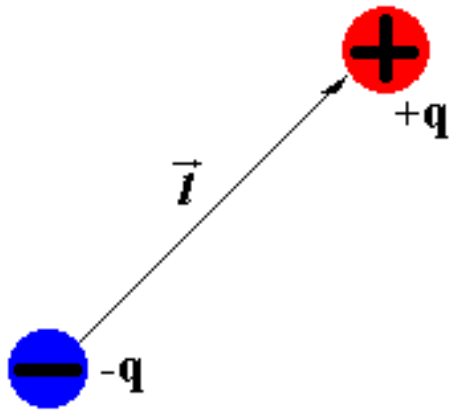
$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2}.$$



# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

## Поле диполя.



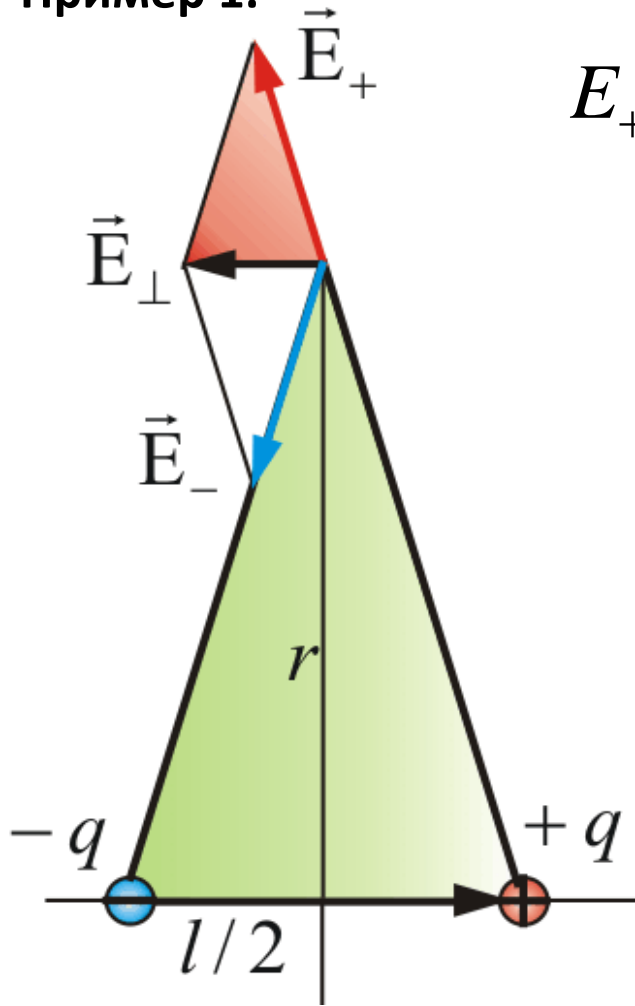
*Электрическим диполем называется система двух одинаковых по величине, но разноименных точечных зарядов, расстояние между которыми  $l$  значительно меньше расстояния до тех точек, в которых определяется поле системы  $r \gg l$*

$\vec{l}$  – *плечо диполя* – вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному и численно равный расстоянию между зарядами.

# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

## Поле диполя.

Пример 1.



$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

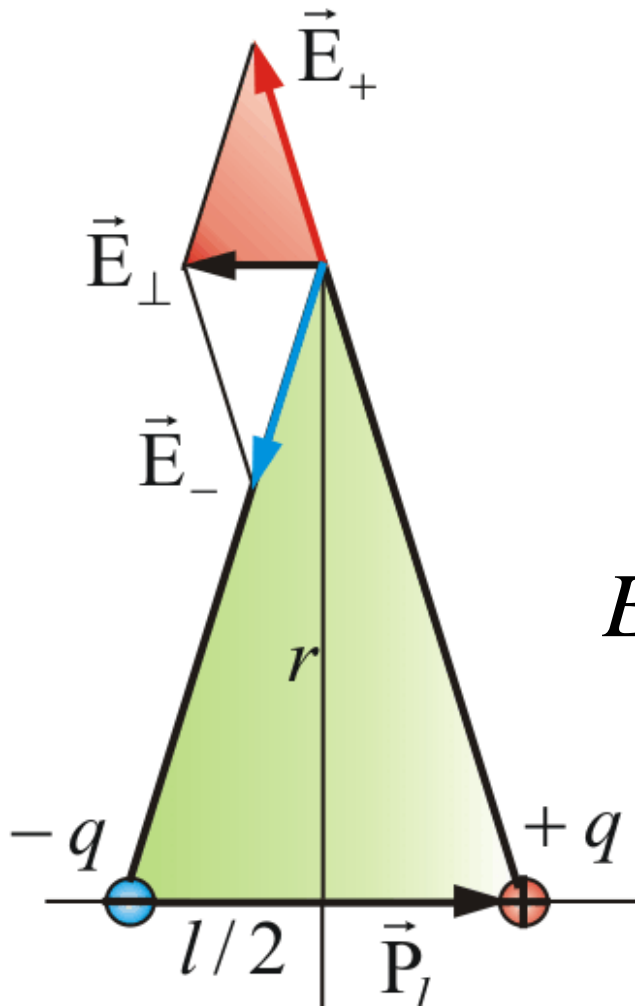
$r \gg l$

$$\frac{E_\perp}{E_+} = \frac{l}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}} \approx \frac{l}{r}$$

$$E_\perp = E_+ \frac{l}{r} = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 r^3}.$$

# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

## Поле диполя.



$$\vec{P} = q\vec{l}$$

*электрический момент диполя  
(или **дипольный момент**) – произведение  
положительного заряда диполя на плечо*

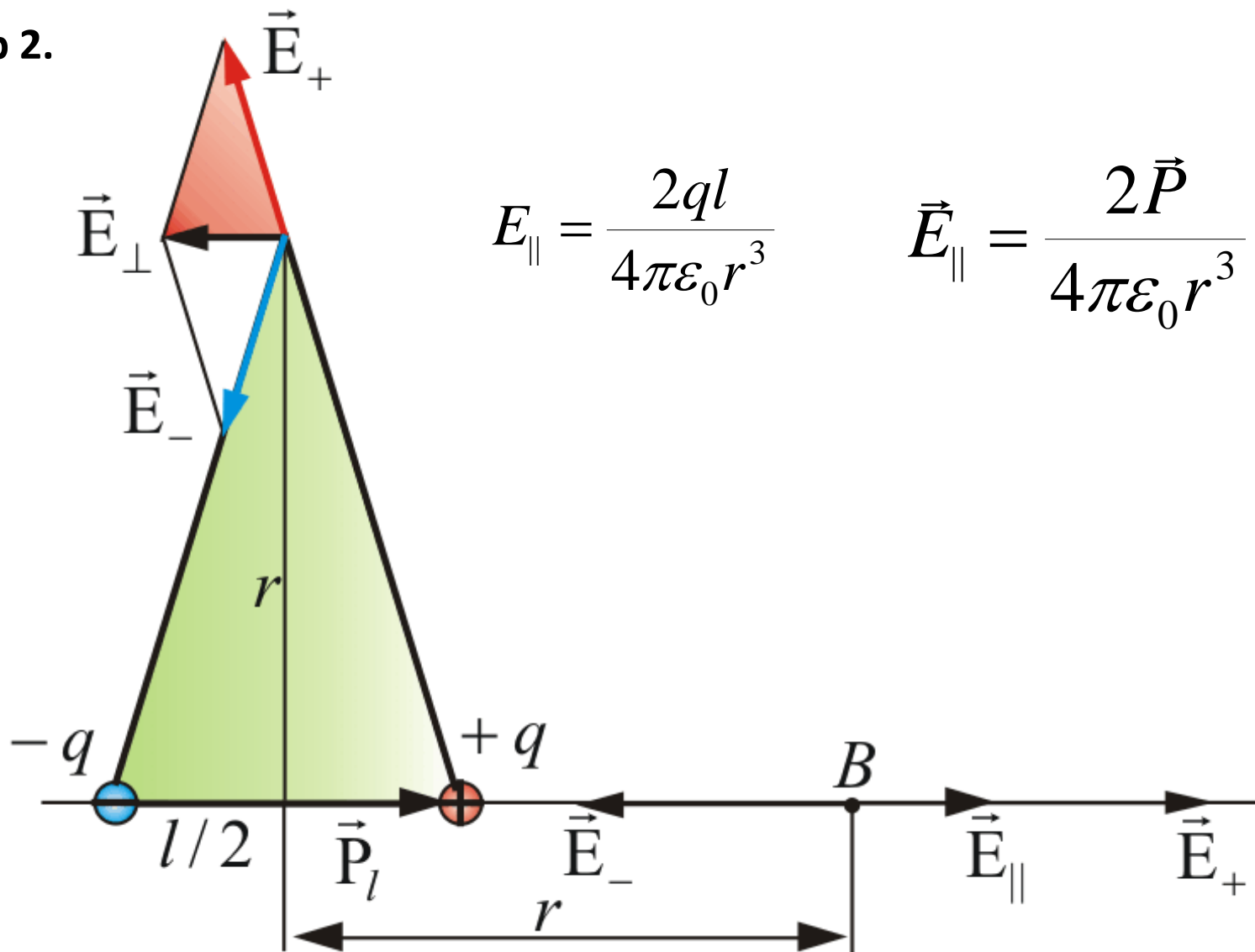
$$E_\perp = \frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$\vec{E}_\perp = \frac{-\vec{P}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

## Поле диполя.

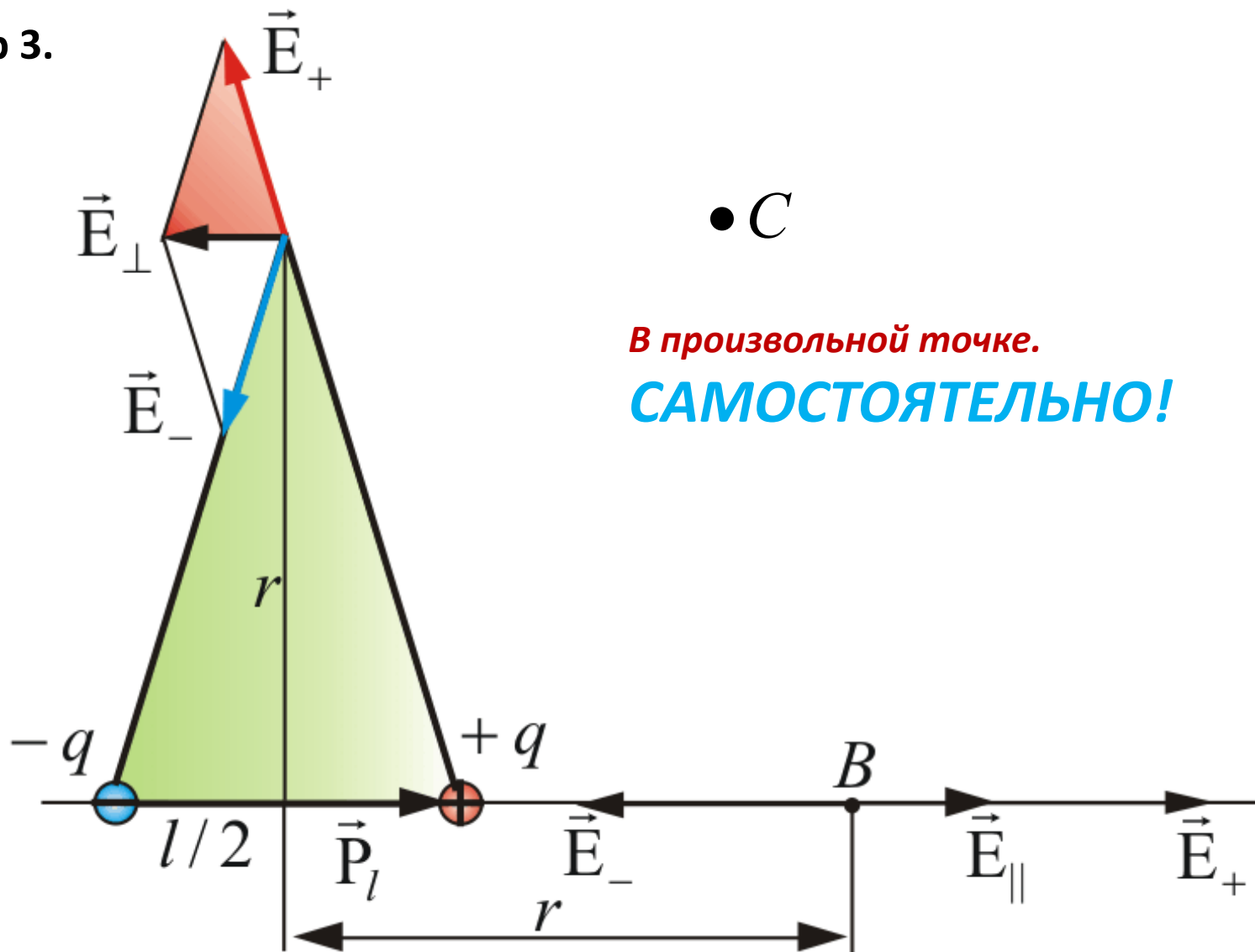
Пример 2.



# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

## Поле диполя.

Пример 3.



# Применение принципа суперпозиции к расчету полей

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

$$\lambda = dq / dl \quad \text{– линейная плотность заряда, измеряется в Кл/м;}$$

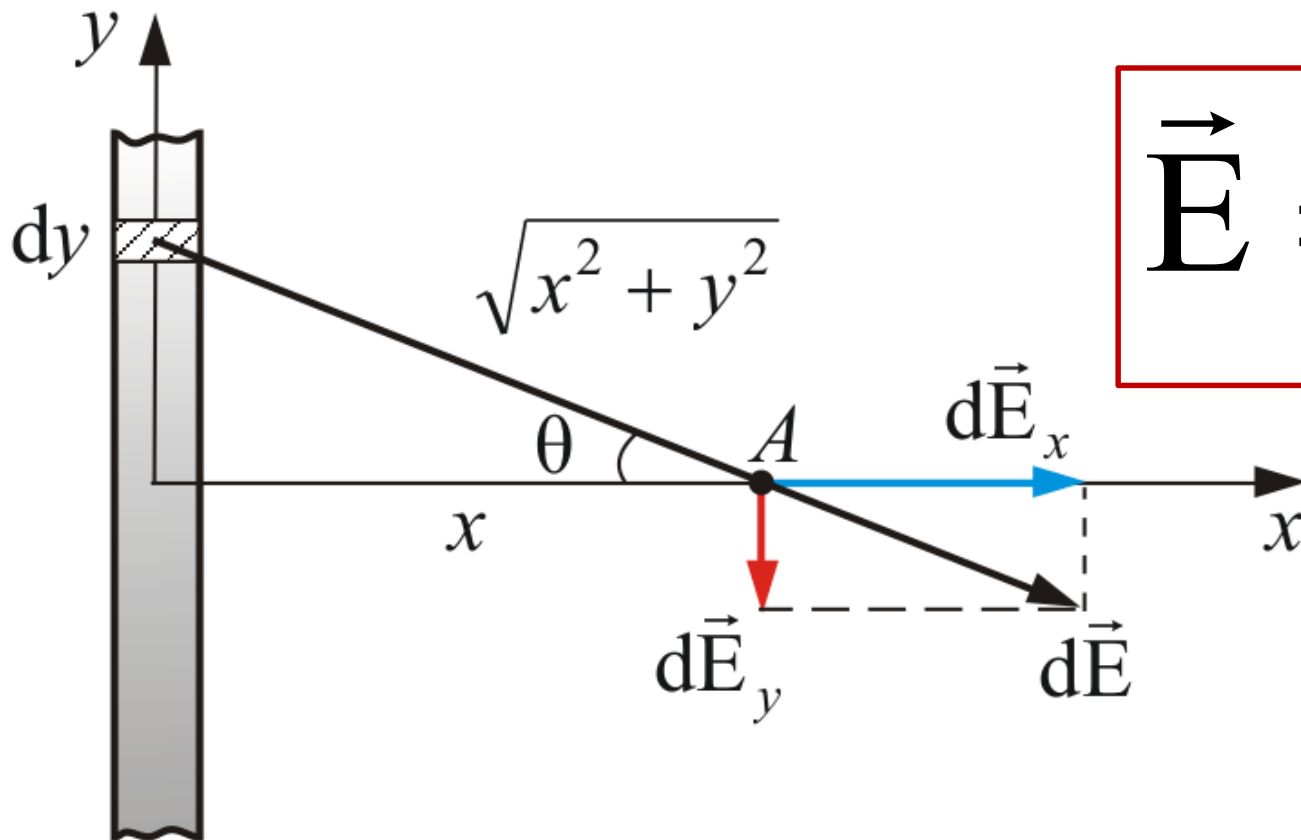
$$\sigma = dq / dS \quad \text{– поверхностная плотность заряда, измеряется в Кл/м}^2\text{;}$$

$$\rho = dq / dV \quad \text{– объемная плотность заряда, измеряется в Кл/м}^3\text{.}$$

## Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов

$$\left. \begin{aligned} dq &= \tau \cdot dl \\ dq &= \sigma \cdot dS \\ dq &= \rho \cdot dV \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} dE &= k \frac{\tau \cdot dl}{r^2} \\ dE &= k \frac{\sigma \cdot dS}{r^2} \\ dE &= k \frac{\rho \cdot dV}{r^2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} E &= \int_l k \frac{\tau \cdot dl}{r^2} \\ E &= \int_S k \frac{\sigma \cdot dS}{r^2} \\ E &= \int_V k \frac{\rho \cdot dV}{r^2} \end{aligned}$$

## Применение принципа суперпозиции к расчету полей

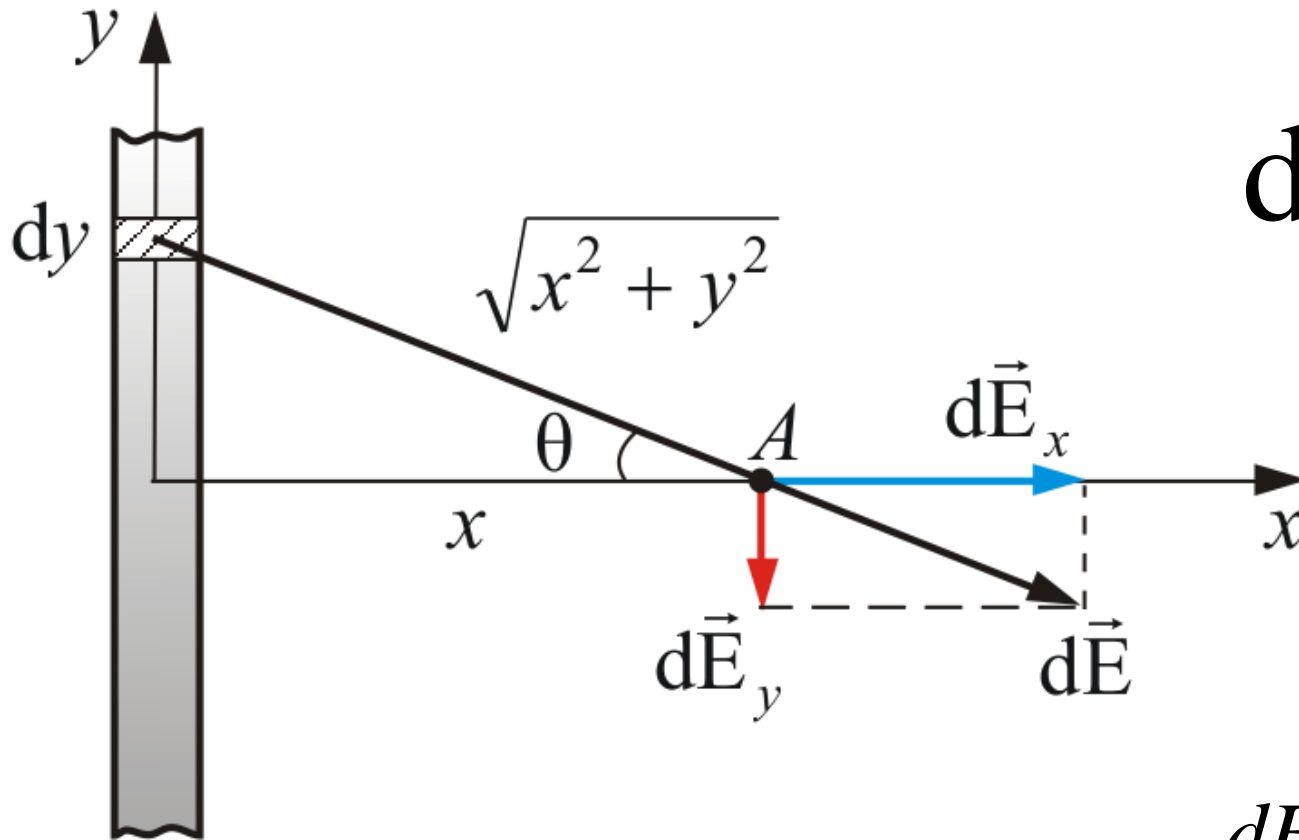


$$\vec{E} = \int d\vec{E},$$

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \frac{\vec{r}}{r},$$



## Применение принципа суперпозиции к расчету полей



$$dq = \lambda dy.$$

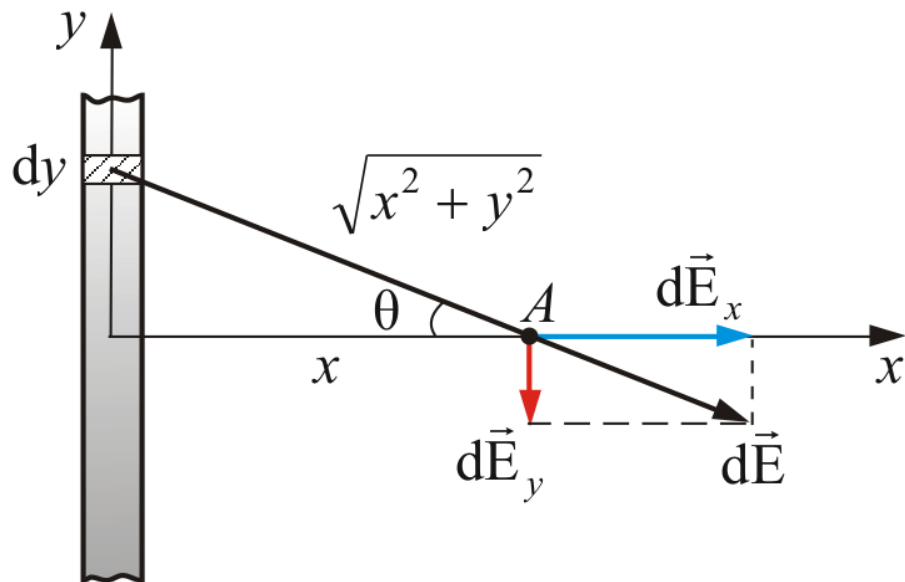
$$dE_x = dE \cos \theta$$

$$dE_y = dE \sin \theta$$

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

$$E_y = \int dE \sin \theta = 0$$

# Применение принципа суперпозиции к расчету полей



$$y = x \operatorname{tg} \theta$$

$$dy = x d\theta / \cos^2 \theta$$

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

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

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