



TOMSK
POLYTECHNIC
UNIVERSITY



Физика 2.3 – Электричество и магнетизм

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

Оценивающие мероприятия	Кол-во	Баллы
Работа в эл. Курсе (тесты)	1	8
Выполнение лабораторных работ	5	10
Контрольная работа	2	10
Защита ИДЗ	2	12
Коллоквиум	2	20
Независимый контроль ЦОКО	2	20
		80

Доп. оценивающие мероприятия	Кол-во	Баллы
Реферат	1	3
Выступление с докладом	1	4
Выполнение лабораторной работы	1	3
		10

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.

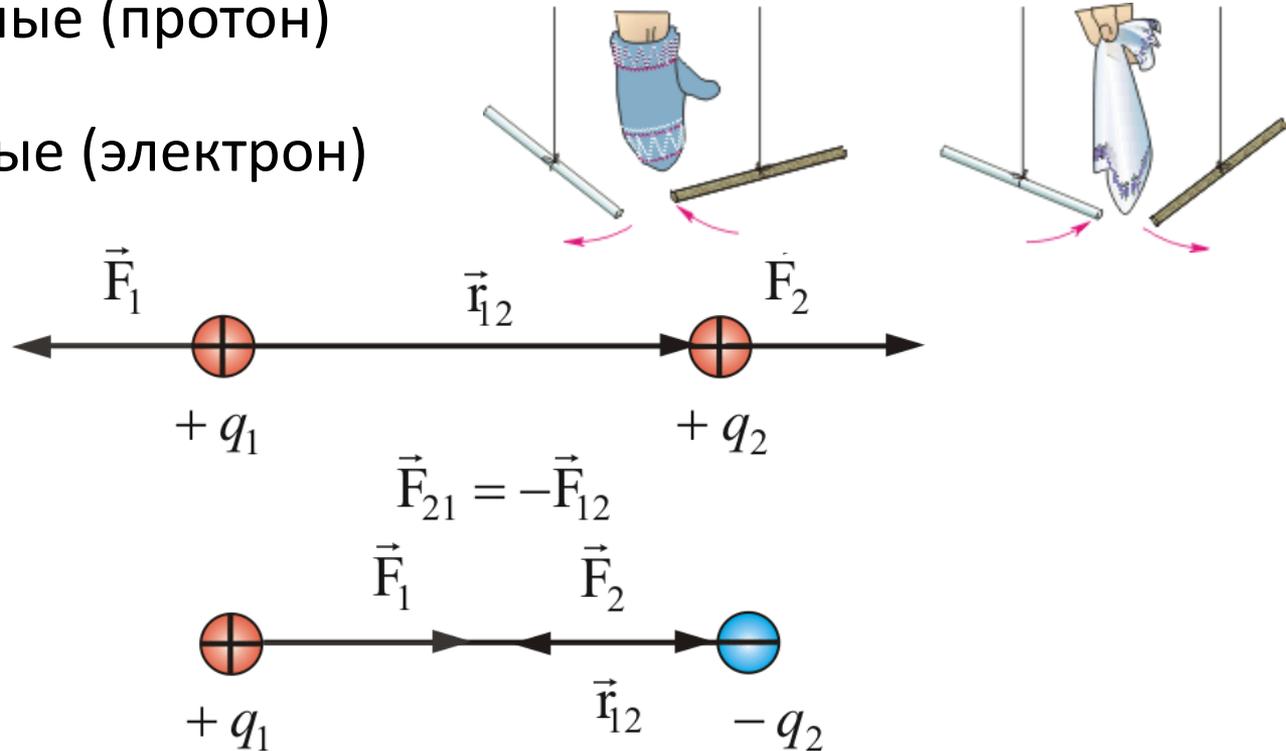


Электрический заряд – источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем.

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

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

закон 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,

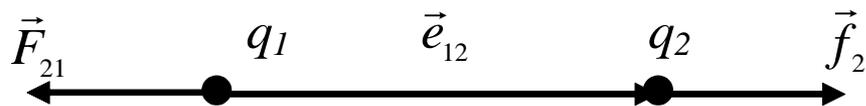
k – коэффициент пропорциональности, зависящий от системы единиц.

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 .

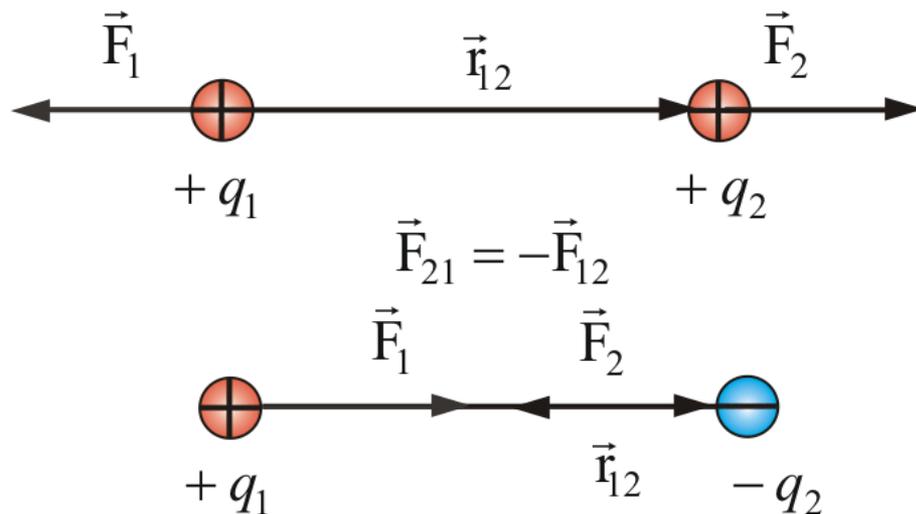
В системе СИ :

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

ϵ_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.

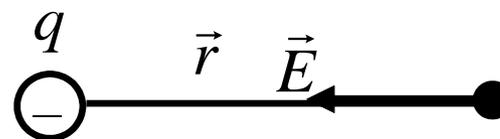
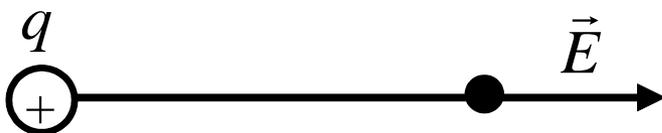
Напряженность электрического поля

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

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

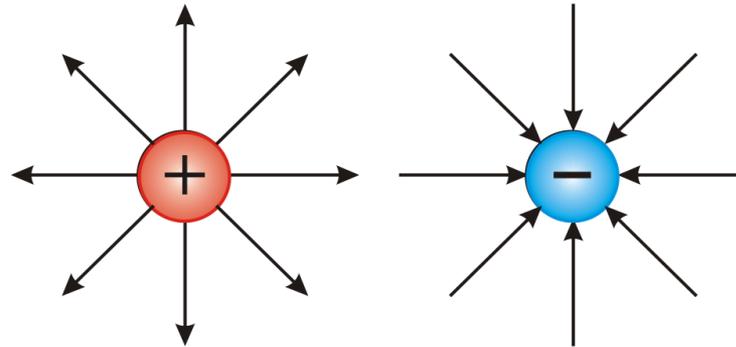
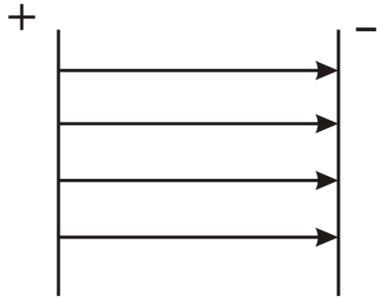
Напряженность –
силовая характеристика
электростатического поля.

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

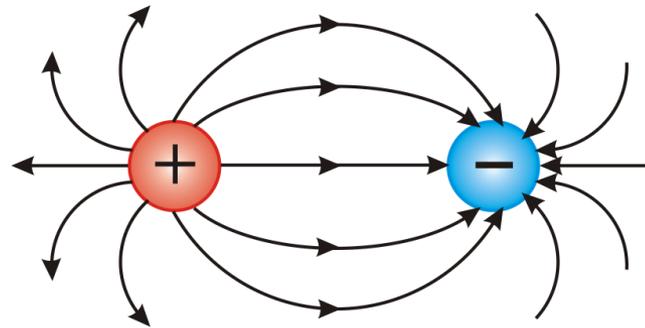


Электрическое поле.

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

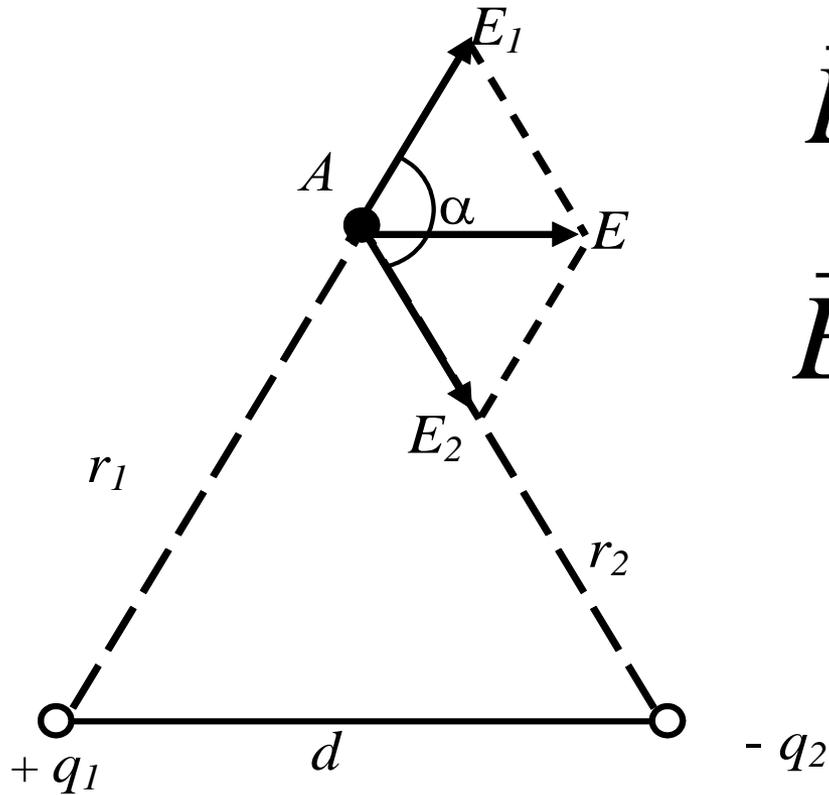
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

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.

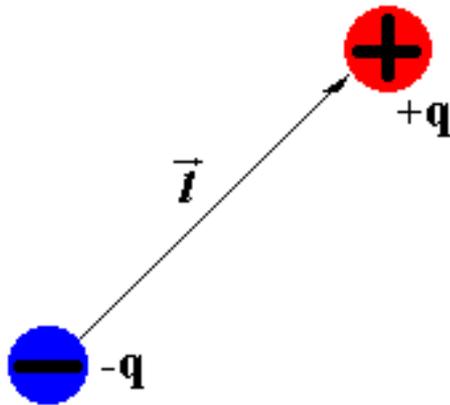
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

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

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

Применение принципа суперпозиции к расчету полей

Поле диполя.



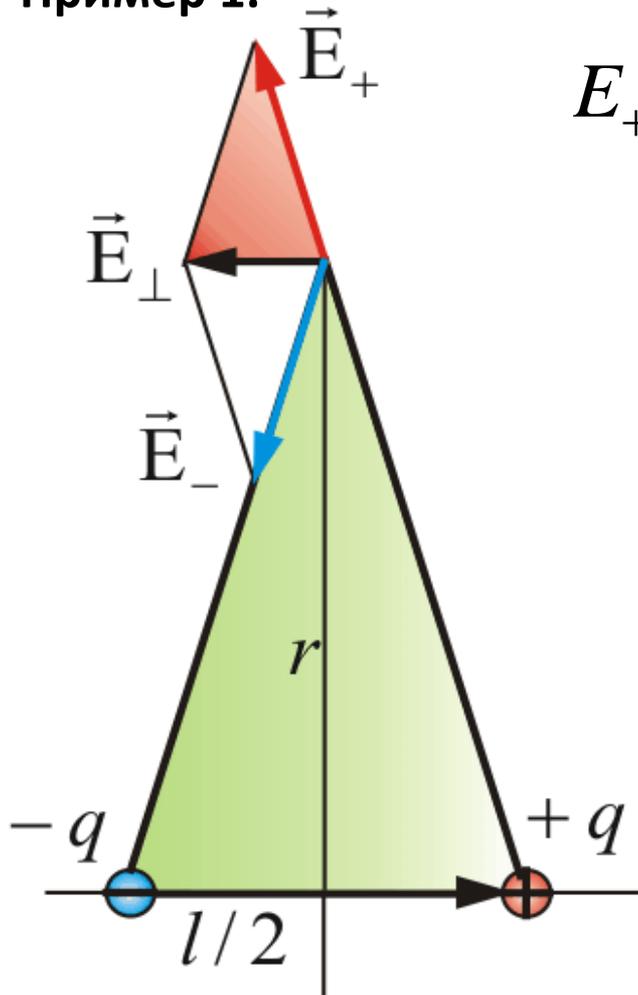
Электрическим диполем называется система двух одинаковых по величине, но разноименных точечных зарядов, расстояние между которыми l значительно меньше расстояния до тех точек, в которых определяется поле системы $r \gg l$

\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.



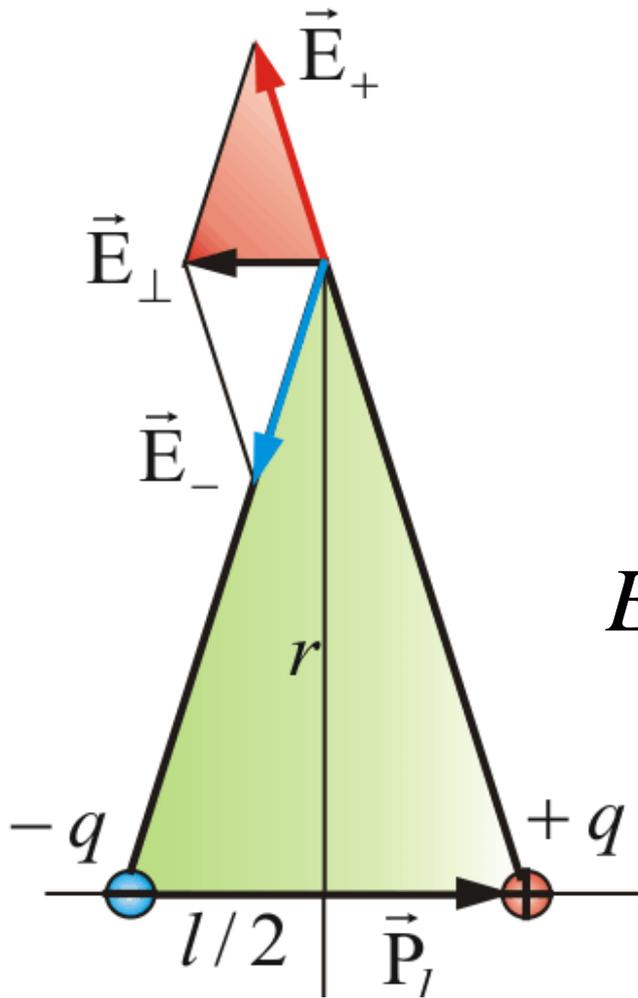
$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$
$$r \gg l$$

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

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

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*

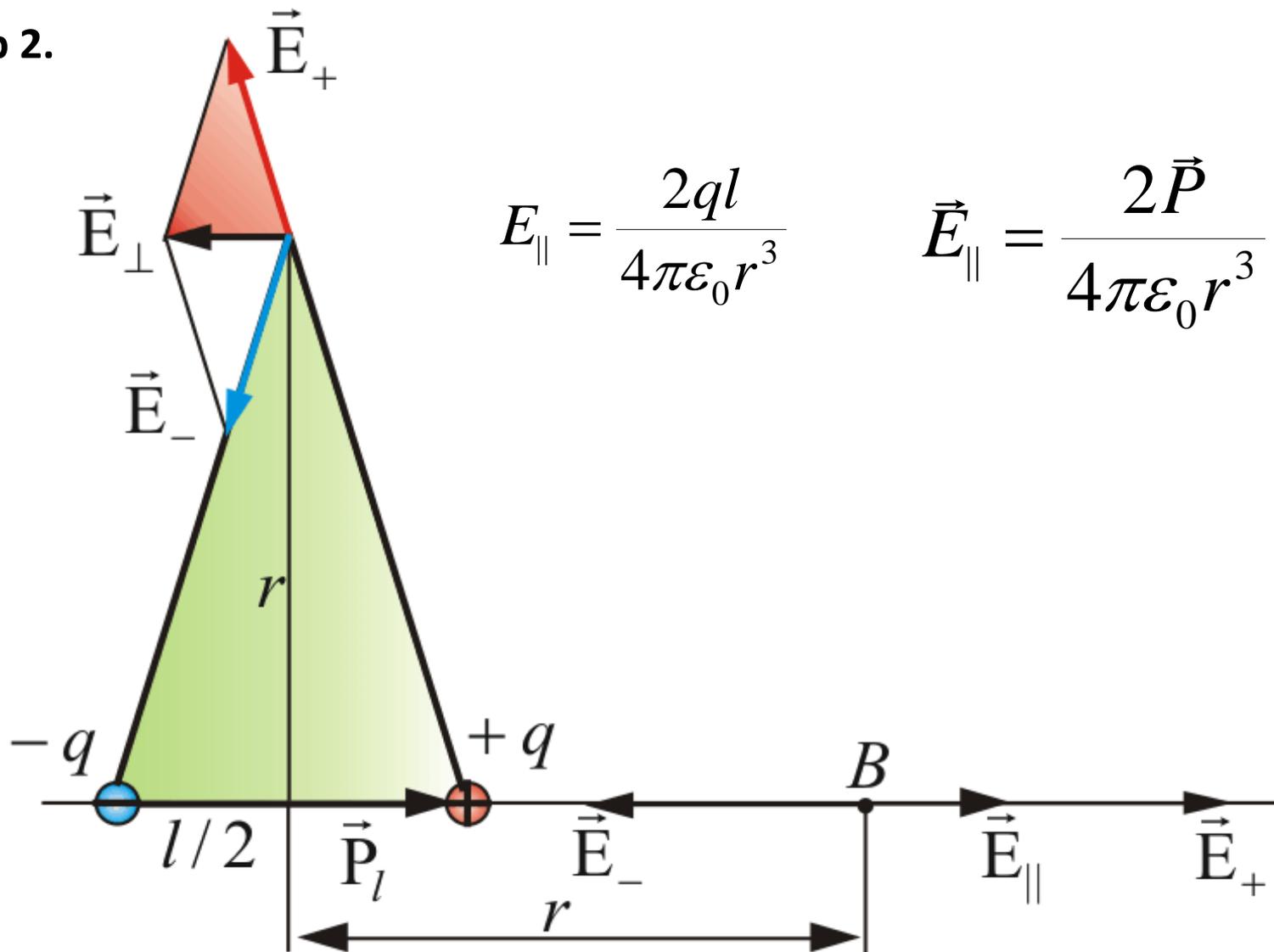
$$E_\perp = \frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

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

Применение принципа суперпозиции к расчету полей

Поле диполя.

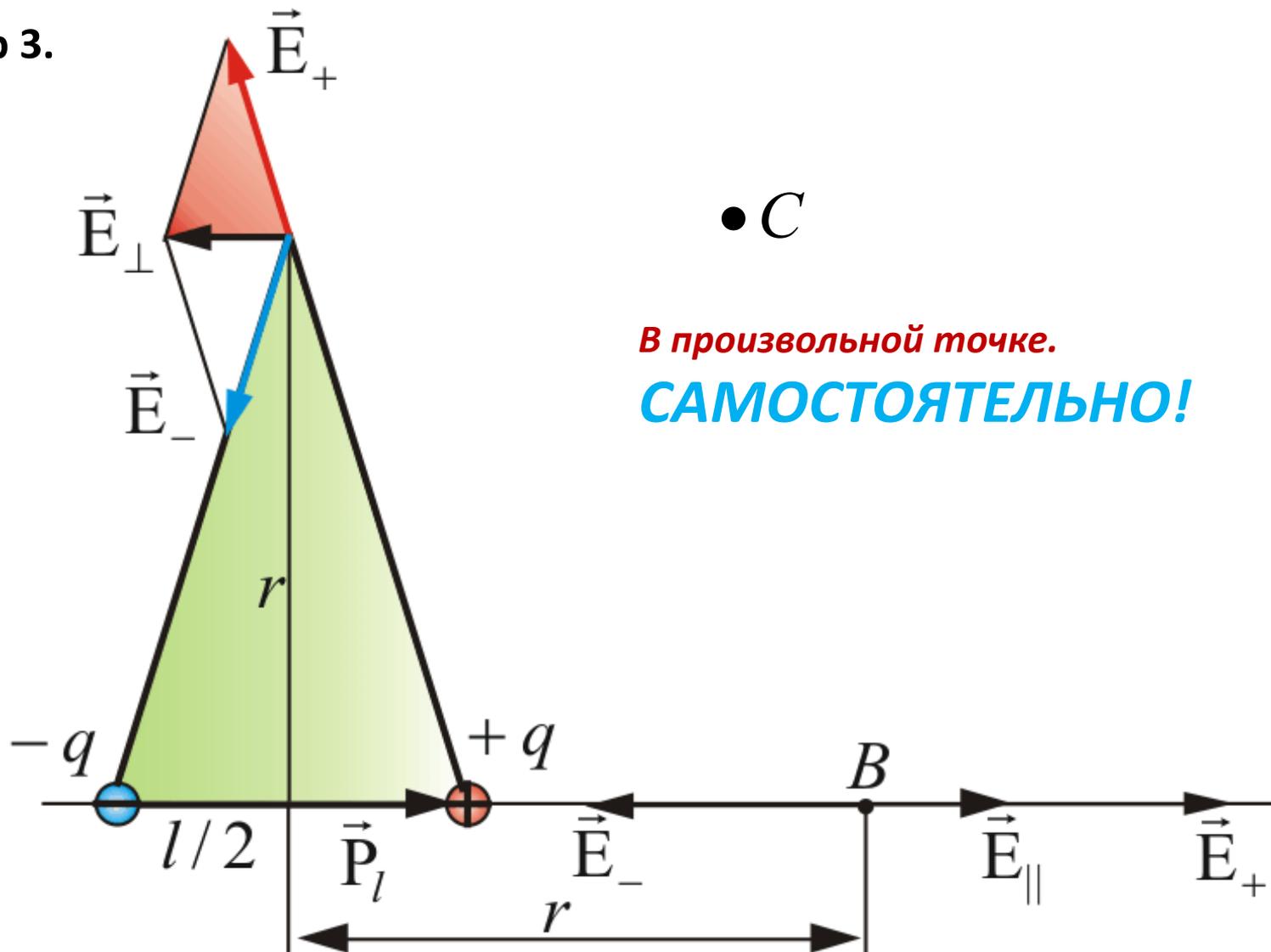
Пример 2.



Применение принципа суперпозиции к расчету полей

Поле диполя.

Пример 3.



Применение принципа суперпозиции к расчету полей

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

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

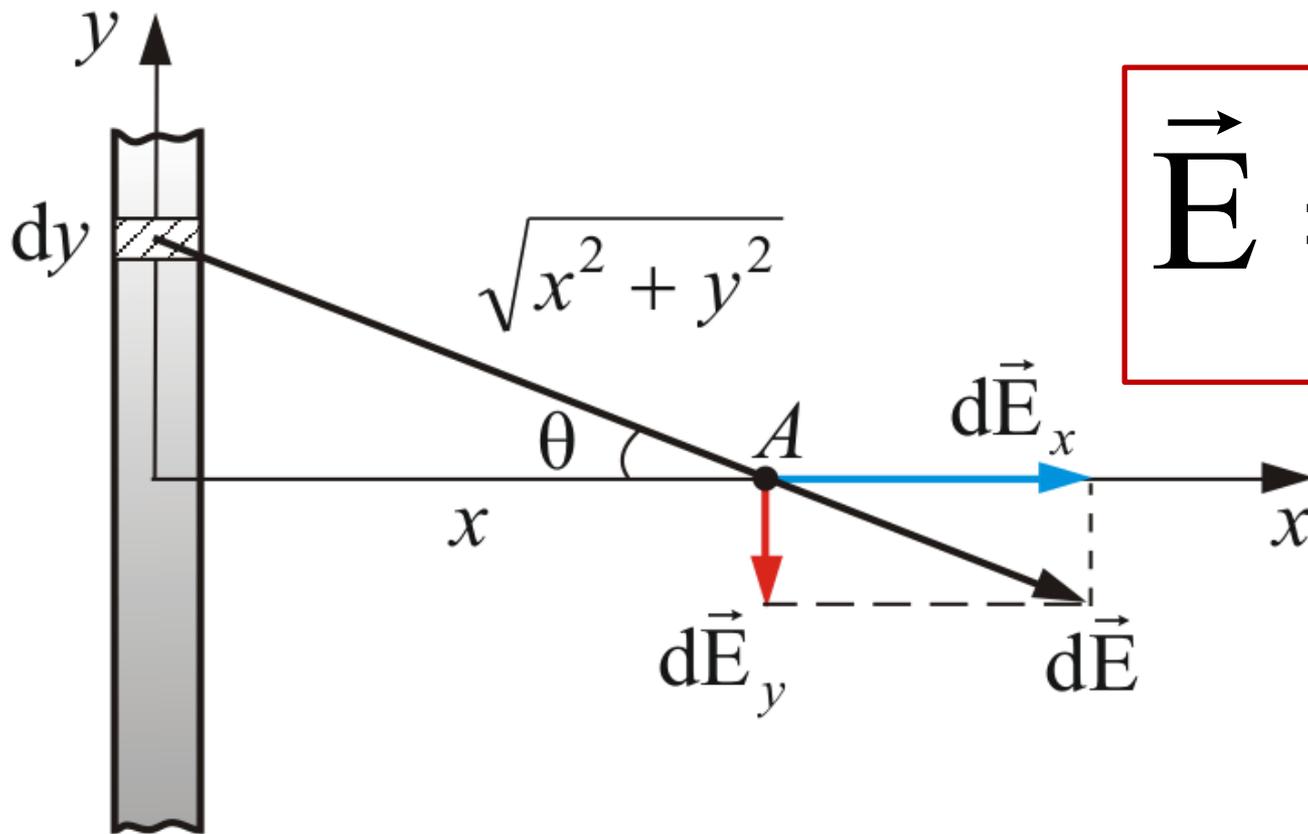
$$\sigma = dq / dS \quad \text{– поверхностная плотность заряда, измеряется в Кл/м}^2\text{;}$$

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

Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов

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

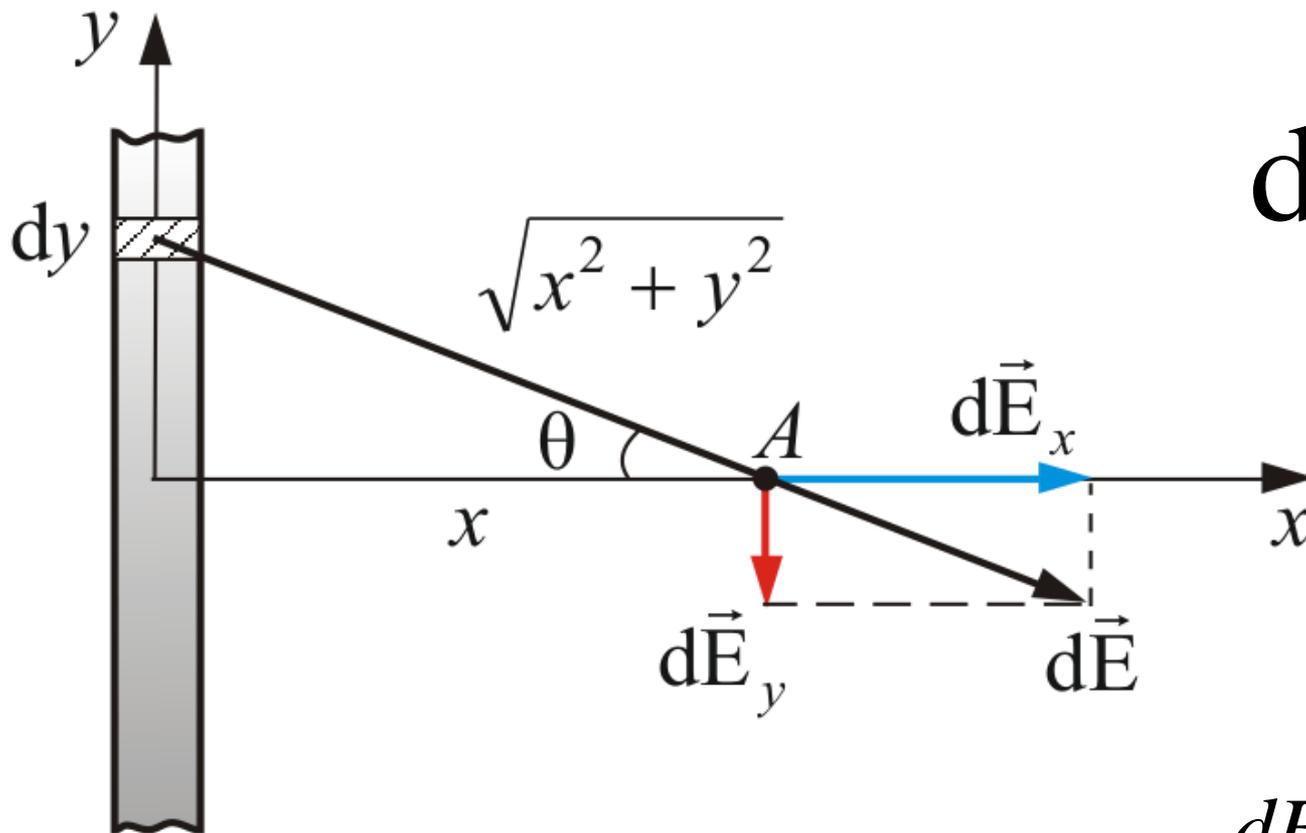
Применение принципа суперпозиции к расчету полей



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

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

Применение принципа суперпозиции к расчету полей



$$dq = \lambda dy.$$

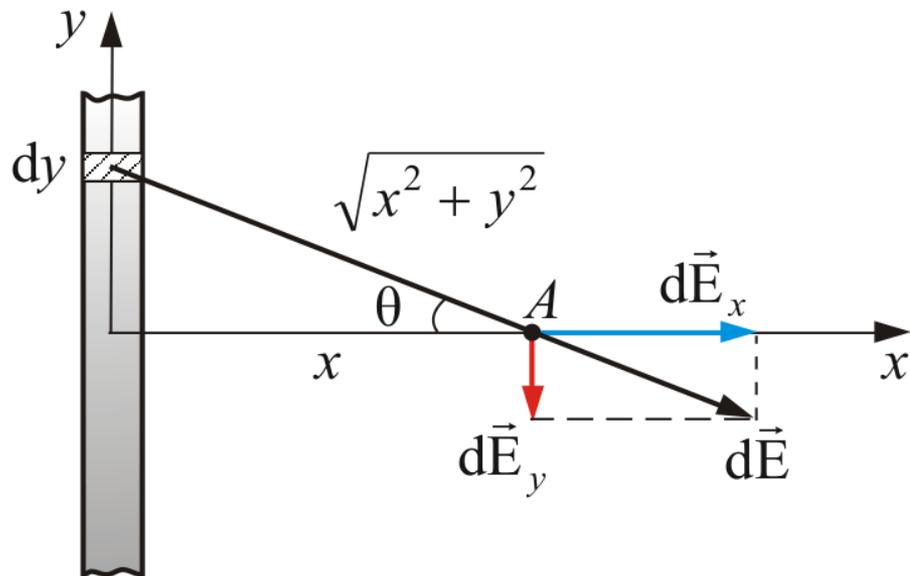
$$dE_x = dE \cos \theta$$

$$dE_y = dE \sin \theta$$

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

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

Применение принципа суперпозиции к расчету полей



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

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

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

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

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