

Конспекты  
по  
электродинамике

20156

ФТШ – 2014

# Содержание

1	Список опытных фактов	1
2	Электрическое поле. Напряженность электрического поля.	3
3	Потенциалы. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности	4

# 1 Список опытных фактов

1. Существует электрическое взаимодействие, обусловленное зарядами между телами.
2. Заряды существуют двух знаков: положительные и отрицательные. Заряды одного знака отталкиваются, разных – притягиваются.
3. Сила взаимодействия между точечными зарядами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.  
Рассмотрим два точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$ :

$$F \sim q_1, \quad F \sim q_2, \quad F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

4. **[Закон Кулона]** В системе СИ сила  $F$  равна

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

где  $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ , а  $[q] = \text{Кл}$  (кулон).

Два единичных заряда на расстоянии 1 м будут взаимодействовать с силой  $F = 9 \times 10^9 \text{ Н}$ . Для измерения заряда те должны в первую очередь сохраняться.

5. **[Закон сохранения электрического заряда]** В замкнутой системе суммарный заряд сохраняется:

$$q_\Sigma = \sum_i q_i = \text{const.}$$

6. **[Принцип суперпозиции]** Сила, действующая на данный электрический заряд  $q$ , равна векторной сумме всех сил, действующих в системе:

$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = \sum_i k \frac{q q_i \mathbf{r}_i}{r_i^3}$$

7. **[Дискретность электрического заряда]** Существует элементарный заряд  $\bar{e} = 1,6 \times 10^{-19}$  Кл. Заряд любой частицы является кратным элементарному:

$$q = n\bar{e}, \quad n \in \mathbb{Z}.$$

Заряд электрона равен  $q_{\text{эл}} = -\bar{e}$ , протона  $q_{\text{пр}} = +\bar{e}$ .

## 2 Электрическое поле. Напряженность электрического поля.

Сила  $\mathbf{F}$ , действующая на заряд  $q$ , всегда пропорциональна его величине, поэтому (1) можно записать в виде

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E},$$

где вектор  $\mathbf{E}$  называют *вектором напряженности электрического поля*. Это аналог формулы  $\mathbf{F} = m\mathbf{g}$ .  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{g}$  являются характеристиками данной точки пространства.

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

$$\mathbf{F} = q \sum_i \frac{q_i \mathbf{r}_i}{r_i^3} = q \sum_i \mathbf{E}_i = q\mathbf{E}.$$

Поле в данной точке есть суперпозиция полей, порождаемых всеми зарядами в системе.

$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i,$$

$$\mathbf{E}_i = k \frac{q_i \mathbf{r}_i}{r_i^3}, \quad E_i = k \frac{q_i}{r_i^2}.$$

Электрическое поле создается зарядами и действует на заряды. Заряды не действуют друг на друга и взаимодействуют посредством полей, которые создают.

### 3 Потенциалы. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности

Покажем, что электрическая сила консервативна. В силу принципа суперпозиции

$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i,$$

откуда

$$A = \sum_i A_i.$$

Поле электрического заряда центрально симметричное, следовательно работа электрических сил по замкнутому контуру равна нулю:

$$\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = q \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0.$$

Если есть консервативная сила, то есть и потенциальная энергия. Например, силе  $\mathbf{F}_{\text{грав}} = G \frac{m_1 m_2 \mathbf{r}}{r^3}$  соответствует потенциальная энергия  $E = -G \frac{m_1 m_2}{r}$ . Рассуждая аналогично, определим *потенциальную энергию электрического поля, порождаемого зарядом*:

$$E_{\text{п}} = +k \frac{q_1 q_2}{r}.$$

В соответствии с принципом суперпозиции

$$E_{\text{п}} = \sum_i E_i = \sum_i k \frac{q q_i}{r_i} = q \sum_i k \frac{q_i}{r_i}.$$

Скалярную величину  $\varphi = \frac{E_{\text{п}}}{q}$  назовем *электрическим потенциалом точки*.

$$[\varphi] = \frac{ДЖ}{Кл} = В \text{ (вольт)}.$$

Для потенциала также выполняется принцип суперпозиции:

$$\varphi = \sum_i \varphi_i = \sum_i k \frac{q_i}{r_i}.$$

Потенциал действует на заряды и создается зарядами. Знак потенциала соответствует знаку заряда, его породившего.

Пусть заряд  $q$  передвигается в электрическом поле из точки 1 в 2. Тогда работа электрической силы запишется как

$$A = E_{\pi_1} - E_{\pi_2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Назовем величину  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  *напряжением* и запишем работу  $A$  в виде

$$A = qU.$$

Заряд  $q$  называется *пробным*, если он достаточно мал, чтобы в условии данной задачи не менять распределение и картину поля от всех остальных зарядов.

Для визуального представления полей используются силовые линии — воображаемые линии, в каждой точке сонаправленные с вектором напряженности электрического поля в этой точке. Густота — величина  $\Gamma = \frac{N}{S}$  — это отношение числа  $N$  силовых линий, проходящих через единицу площади  $S$ , к  $S$ ; иначе говоря, густота — это «плотность» силовых линий.