

Электродинамика

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 $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$, где $[q] = \text{Кл}$ (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 эл. 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 эл. заряда]** Существует элементарный заряд $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл. Заряд любой частицы является кратным элементарному:

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

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

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 всех полей, порождаемых всеми зарядами в системе.

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

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:

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

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 движется 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 – пробный, 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 число N силовых линий, проходящих через единицу площади S , иначе говоря, “плотность” силовых линий.