

## Лабораторная работа № 3.2

### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

#### 3.2.1. Цель работы

Целью работы является знакомство с моделированием электрического поля двух точечных зарядов и экспериментальное определение величины электрической постоянной.

#### 3.2.2. Краткая теория

Электрические заряды взаимодействуют посредством электрического поля. Иначе говоря, *электрическое поле* – это среда, передающая электрическое взаимодействие. Электрическое поле и его заряд образуют единое целое. Существует элементарный положительный и элементарный отрицательный заряды ( $|e^+| = |e^-| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл). Такими зарядами обладают элементарные заряженные частицы: электрон, позитрон и протон.

*Основные свойства электрического заряда:*

1) дискретность (любой заряд всегда кратен элементарному заряду)

$$q = N|e|, \quad (3.2.1)$$

где  $N$  – целое число;

2) аддитивность (заряд системы заряженных тел равен алгебраической сумме зарядов отдельных тел)

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \sum_{i=1}^n q_i; \quad (3.2.2)$$

3) суммарный заряд электрически изолированной системы, через границы которой не могут проникать заряженные частицы, с течением времени не изменяется (закон сохранения электрического заряда),

$$Q = \text{const}; \quad (3.2.3)$$

4) инвариантность (величина заряда одинакова во всех инерциальных системах отсчета).

Закон Кулона был открыт в 1785 г. Ш. Кулоном и позволяет рассчитать силу взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :

$$\vec{F}_{12} = -\frac{q_1 q_2 \vec{r}_{12}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}^3}, \quad (3.2.4)$$

где  $\vec{r}_{12}$  – радиус-вектор, направленный от первого заряда ко второму;

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

Согласно закону Кулона, сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Закон Кулона можно записать и в скалярной форме:

$$F_{12} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}^2}. \quad (3.2.5)$$

*Напряжённостью* называется векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой электрического поля. Напряженность поля в данной точке пространства численно равна силе  $\vec{F}_{эл}$ , действующей на точечный положительный заряд, помещенный в эту точку

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{эл}}{q}. \quad (3.2.6)$$

Электрическое поле можно задавать графически с помощью линий напряжённости.

*Линия напряжённости электрического поля* – это линия, в любой точке которой вектор напряжённости направлен по касательной к ней. Линии напряжённости электрического поля точечного заряда представляют собой прямые линии, идущие от положительного заряда или к отрицательному заряду (рис. 3.2.1).

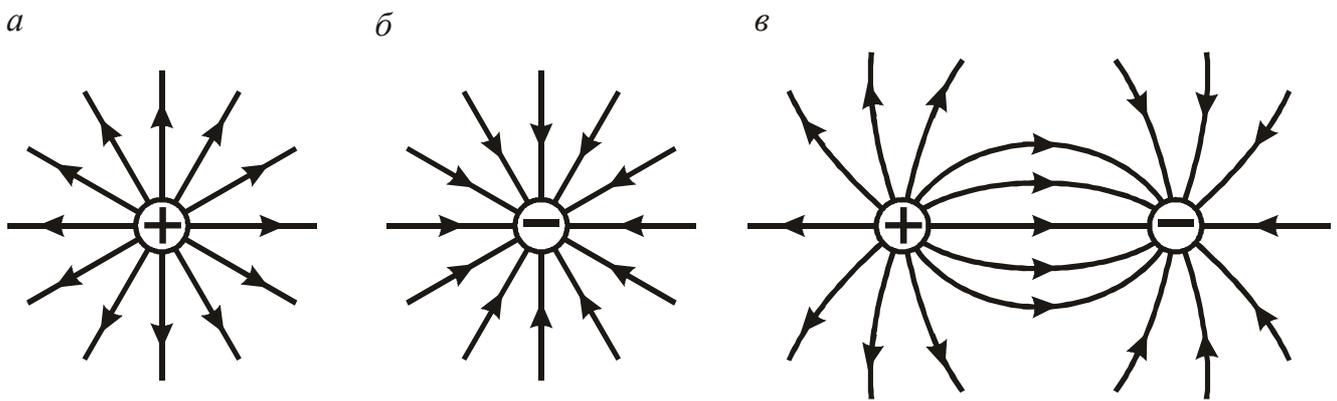


Рис. 3.2.1. Линии напряженности поля положительного (а), отрицательного (б) зарядов и системы из двух зарядов разного знака (в)

Для напряжённости электрического поля выполняется принцип суперпозиции: каждый электрический заряд в данной точке пространства создаёт электрическое поле вне зависимости от наличия других электрических зарядов.

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i. \quad (3.2.7)$$

*Диполь* – это два одинаковых по величине, но противоположных по знаку точечных зарядов, расположенных на расстоянии  $l$  ( $l$  – плечо диполя).

*Дипольный электрический момент* – это векторная физическая величина, численно равная произведению величины заряда на расстояние между ними.

$$|\vec{p}_e| = ql. \quad (3.2.8)$$

Вектор  $\vec{p}_e$  направлен от отрицательного заряда к положительному (рис. 3.2.2). Напряжённость электрического поля диполя вычисляется с использованием принципа суперпозиции.

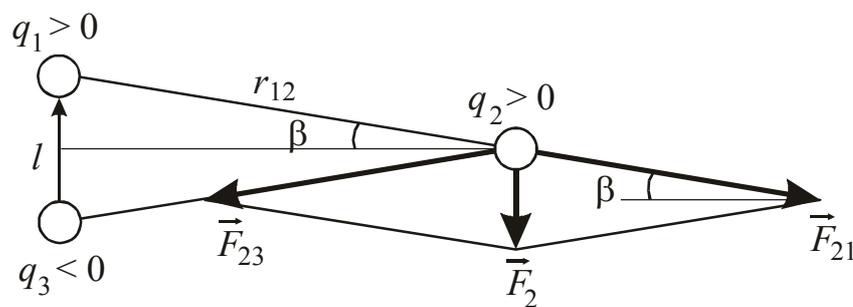


Рис. 3.2.2. Электрическое поле диполя

Как видно из рисунка 3.2.2,  $\sin \beta = \frac{l}{2r_{12}}$ , а для суммарной силы

получим

$$F_2 = 2F_{21} \sin \beta = \frac{F_{21} l}{r_{21}}, \quad (3.2.9)$$

где  $r_{12} = r_{21}$  – расстояние между зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .

На линии, проходящей через центр диполя, перпендикулярно его оси, и на большом расстоянии  $r$  от его центра, напряженность

$$E = \frac{p_e}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3}. \quad (3.2.10)$$

### 3.2.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Взаимодействие электрических зарядов». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Рассмотрите внимательно рисунок 3.2.3, найдите регуляторы с движками, задающими величину зарядов  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$ , и запишите их в соответствующую таблицу в отчете (см. с. 6).

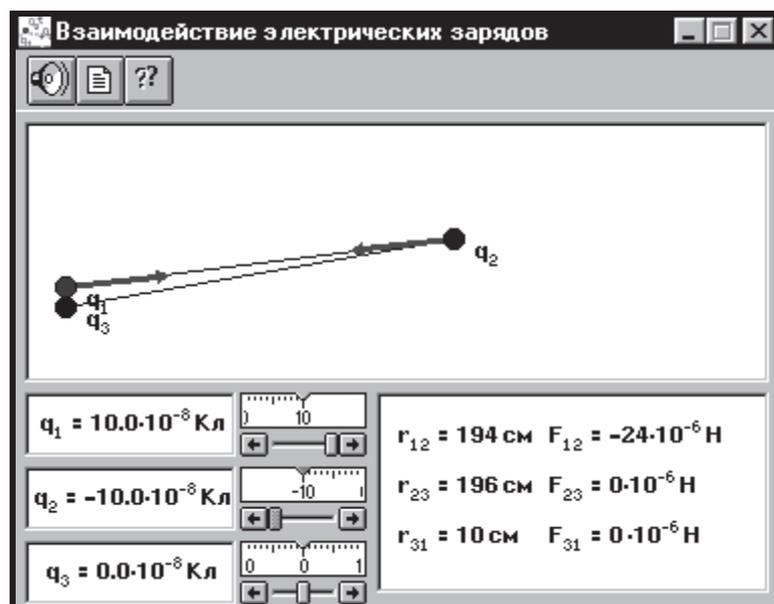


Рис. 3.2.3. Взаимодействие электрических зарядов

## 1. Исследование поля точечного заряда

При нажатой левой кнопки мыши перемещайте движок регулятора величины первого заряда и установите величину  $q_1$ , указанную в табл. 3.2.1 для вашей бригады.

Подведите маркер мыши, который имеет форму руки, к первому заряду и, удерживая левую кнопку мыши, зафиксируйте заряд вблизи левой границы экспериментального поля.

Установите величину второго и третьего зарядов:  $q_2 = 1 \cdot 10^{-8}$  Кл,  $q_3 = 0$ . Третий заряд поместите под первым.

Заряд  $q_2$  перемещайте вправо от первого заряда, устанавливая расстояния  $r_{12}$ , указанные в табл. 3.2.2. Измеренные в соответствующих точках значения  $F_{12}$  занесите в эту же таблицу. Рассчитайте в этих точках напряженность поля  $E = F_{12}/q_2$  и также запишите в табл. 3.2.2.

Повторите измерения для другого значения заряда  $q_1'$  (см. табл. 3.2.1), записывая в табл. 3.2.2 значения  $F_{12}'$  и  $E'$ .

Значения точечного заряда  $q_1$ 

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_1, 10^{-8}$ Кл	4	4	-4	-4	6	5	-7	-8
$q_1', 10^{-8}$ Кл	8	9	-7	-6	10	10	-9	-10

Таблица 3.2.2

Результаты измерений

$r_{12}, \text{см}$	20	25	30	40	60	80	100
$1/(r_{12})^2, \text{м}^{-2}$							
$F_{12}, \text{мкН}$							
$F_{12}', \text{мкН}$							
$E, \text{В/м}$							
$E', \text{В/м}$							

## 2. Исследование поля диполя

Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора величины второго заряда диполя ( $q_3$ ) и установите значение, указанное в табл. 3.2.1 для вашей бригады, изменив знак на противоположный ( $q_3 = -q_1$ ). Переместите заряд  $q_3$  так, чтобы электрический момент диполя был направлен вертикально, а плечо диполя ( $l = r_{31}$ ) было равно 10 см.

Перемещайте мышью заряд  $q_2$  по горизонтальной линии, перпендикулярной оси диполя, удерживая левую кнопку мыши. При измерениях следите, чтобы  $r_{12} = r_{23}$ . На расстояниях  $r$  от оси диполя, указанных в табл. 3.2.3, измерьте и занесите значения  $F_{12}$  (считайте, что  $r = r_{12}$ ). Рассчитайте напряженность в этих точках –  $E = F_{12} \cdot l / (q_2 \cdot r)$  и запишите в таблицу 3.2.3. Повторите измерения для другого значения заряда  $q_1'$  (см. табл. 3.2.1.) и рассчитайте  $E'$ .

**Результаты измерений**

$r$ , см	60	80	100	120	140	160
$1/(r)^3$ , м <sup>-3</sup>						
$F_{12}$ , Н						
$F_{12}'$ , Н						
$E$ , В/м						
$E'$ , В/м						

**3.2.4. Обработка результатов измерений**

1. Вычислите в системе СИ и запишите в таблицы 3.2.2 и 3.2.3 значения для второй строки.

2. Постройте на одном листе графики зависимости напряженностей электрических полей  $E$  и  $E'$  точечных зарядов  $q_1$  и  $q_1'$  от величины  $1/(r_{12})^2$ .

3. Постройте на втором листе графики зависимости напряженностей электрических полей  $E$  и  $E'$  на оси диполя от  $1/r^3$ .

4. По тангенсу угла наклона графиков (см. с. 7) определите значение электрической постоянной для первого чертежа по формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{q_1}{4\pi} \frac{\Delta(1/r^2)}{\Delta(E)}, \quad (3.2.11)$$

а для второго (при больших расстояниях  $r$ ) –

$$\varepsilon_0 = \frac{p}{4\pi} \frac{\Delta(1/r^3)}{\Delta(E)}. \quad (3.2.12)$$

5. Вычислите среднее значение электрической постоянной в каждом эксперименте и сравните с табличным значением, равным  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

6. Рассчитайте среднюю абсолютную и относительную погрешности по первому и второму экспериментам и запишите ответы (см. с.7–8).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электрическое поле?
2. Запишите и сформулируйте закон Кулона.
3. Что называется напряжённостью электрического поля?
4. Дайте определение линий напряжённости электрического поля.
5. Изобразите с помощью линий напряженности поле положительного заряда, отрицательного заряда и поля диполя.
6. Сформулируйте принцип суперпозиции для напряженности электрического поля.
7. Что такое электрический диполь?
8. Что называется дипольным моментом?
9. Чему равна напряжённость электрического поля на оси диполя на большом расстоянии от него?