

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.2

Электрическое поле точечных зарядов

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником ([3] т.2, §5-10). Запустите программу. Выберите «Электричество и магнетизм» и «Взаимодействие электрических зарядов». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Составьте конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ, с.5, еще раз).

Цель работы

- Знакомство с моделированием электрического поля от точечных источников.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей для электрического поля точечного заряда и электрического диполя (ЭД).
- Экспериментальное определение величины электрической постоянной.

Краткая теория

Электрическим полем (ЭП) называется то, что существует в области пространства, в которой на электрически заряженную частицу действует сила, называемая электрической (кулоновской).

Источником ЭП являются электрически заряженные частицы.

Зрядом (электрическим) называется особая характеристика объекта, определяющая его способность создавать ЭП и взаимодействовать с ЭП. Часто «зрядом» называют заряженную частицу, а «точечным зрядом» - материальную точку, имеющую электрический зряд.

Основные **свойства** электрического заряда:

1. Зряд **инвариантен** – его величина одинакова при измерении в любой инерциальной системе отсчета.
2. Зряд **сохраняется** – суммарный зряд изолированной системы тел не изменяется.
3. Зряд **аддитивен** – зряд системы тел равен сумме зарядов отдельных тел.
4. Зряд **дискретен** – зряд любого тела по величине кратен минимальному зряду, который обозначается символом e и равен $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
5. Существуют зряды ДВУХ разных типов. Зряды одного типа названы положительными, а другого типа - отрицательными. Одноименные зряды отталкиваются, а разноименные - притягиваются.

Если вблизи одной заряженной частицы (заряда Q_1), расположенной в начале координат, будет находиться вторая заряженная частица (заряд Q_2), то на второй зряд будет действовать электрическая (кулоновская) сила $\vec{F}_{ЭЛ}$, определяемая законом Кулона

$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r,$$

где \vec{r} - радиус-вектор точки наблюдения; \vec{e}_r - единичный радиус-вектор, направленный в точку наблюдения; ϵ_0 - электрическая постоянная; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды (в вакууме $\epsilon = 1$).

Напряженность электрического поля - характеристика силового действия ЭП на заряд. Напряженность ЭП, создаваемого зарядом Q_1 , есть векторная величина, обозначаемая символом $\vec{E}(Q_1)$ и определяемая соотношением $\vec{E}(Q_1) = \frac{\vec{F}}{Q_2}$,

где \vec{F} - сила, действующая на заряд Q_2 .

Линия ЭП- линия, в любой точке которой вектор напряженности ЭП направлен по касательной к ней.

ЭП подчиняется принципу суперпозиции: напряженность ЭП нескольких источников является суммой векторов напряженности поля, создаваемого независимо каждым источником $\vec{E}_{\text{СУМ}} = \sum_i \vec{E}_i$.

Потоком ЭП называется интеграл по некоторой поверхности S от скалярного произведения напряженности ЭП на элемент поверхности:

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S},$$

где вектор $d\vec{S}$ направлен по нормали к поверхности.

Закон Гаусса для ЭП: поток ЭП через замкнутую поверхность S_0 пропорционален суммарному заряду, расположенному внутри объема, ограниченного поверхностью интегрирования потока $V(S_0)$

$$\Phi_{0E} = \oint_{S_0} \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_j Q_j.$$

Линии напряженности электрического поля точечного заряда представляют собой прямые линии, идущие от заряда (положительного) или к заряду отрицательному.

Потенциалом данной точки \vec{r} ЭП называется скалярная характеристика ЭП, численно равная работе сил поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в другую фиксированную точку \vec{r}_0 , в которой потенциал принят за 0 (например, в бесконечность):

$$\varphi(\vec{r}) = \int_{\vec{r}}^{\vec{r}_0} \vec{E} d\vec{r}.$$

Уравнение, выражающее напряженность через потенциал

$$\vec{E} = -\text{grad}(\varphi),$$

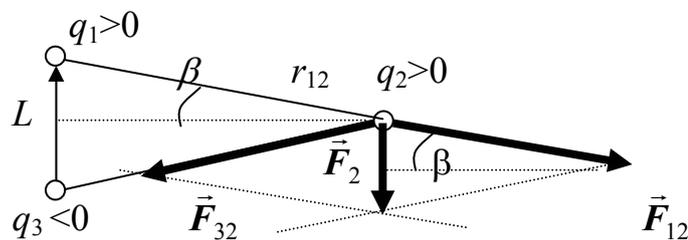
где оператор градиента

$$\text{grad} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right\} \equiv \vec{\nabla}.$$

Диполь есть два одинаковых по величине, но противоположных по знаку точечных зарядов Q , расположенных на расстоянии L (L — плечо диполя).

Дипольный (электрический) момент есть произведение $|\vec{p}_e| = QL$. Вектор направлен от отрицательного заряда к положительному заряду.

Напряженность ЭП диполя вычисляется с использованием принципа суперпозиции для ЭП.



Как видно из рисунка,

$$\sin\beta = \frac{L/2}{r_{12}},$$

а для суммарной силы получим

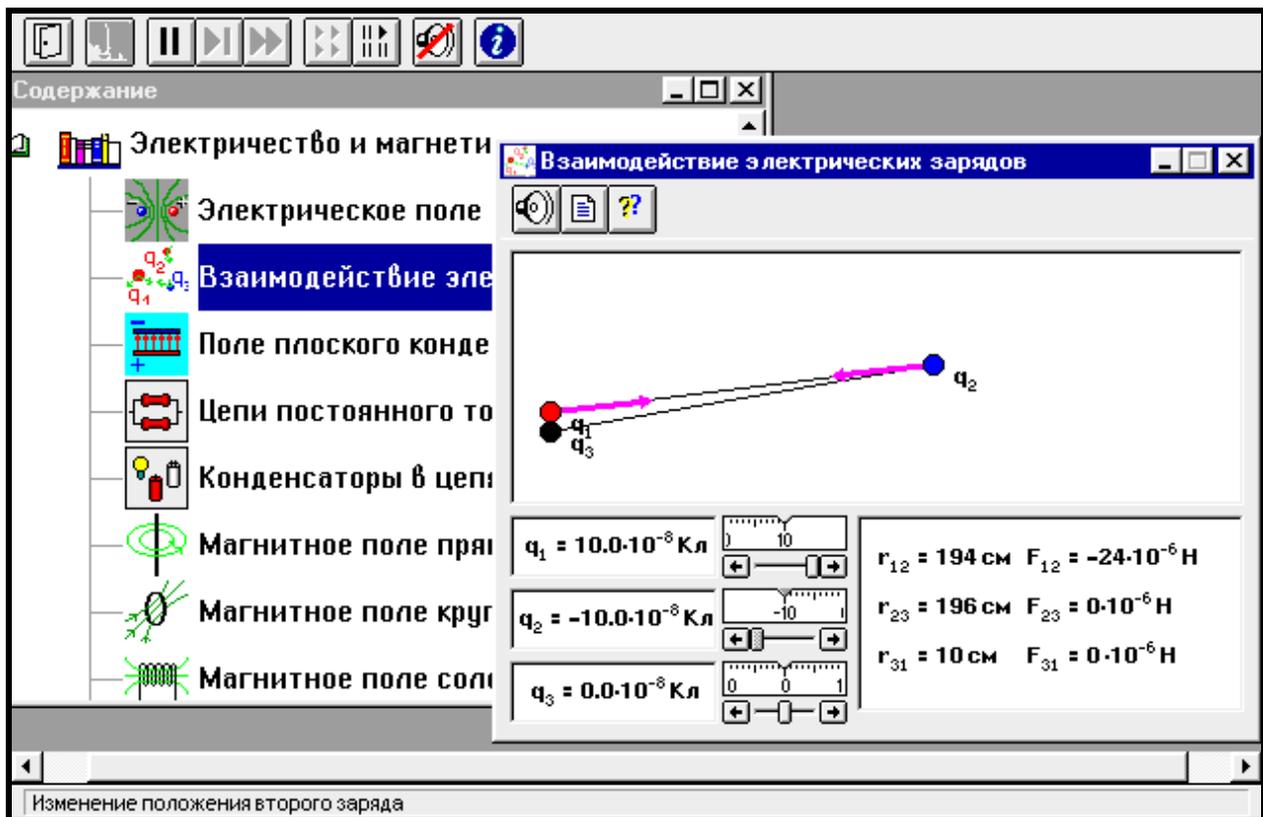
$$F_2 = 2F_{12}\sin(\beta) = F_{12} \frac{L}{r_{12}}.$$

На линии, проходящей через центр диполя, перпендикулярно электрическому моменту, и на большом расстоянии r от его центра

$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p}_e}{r^3}.$$

Методика и порядок измерений

Закройте окно теории. Рассмотрите внимательно рисунок и составьте конспект.



Подготовьте таблицы по форме 1, используя образец.

Форма 1
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ
(9 столбцов)

r (см) =	20	30	...	100
$1/r^2$, м ⁻²				
E_1 , В/м				
E_2 , В/м				
E_3 , В/м				
E_4 , В/м				

Табл. 1
Значения величины заряда $q_1/10^{-8}$ Кл
(не перерисовывать)

Бригады				
1 и 5	4	6	8	10
2 и 6	4	5	9	10
3 и 7	-4	-5	-7	-9
4 и 8	-4	-6	-8	-10

Получите у преподавателя допуск к выполнению измерений.

Измерения

Эксперимент 1. Исследование поля точечного заряда

Закройте окно теории, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите эксперимент «Взаимодействие электрических зарядов».

Зацепив мышью, перемещайте заряд q_1 и зафиксируйте его вблизи левой границы экспериментального поля. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора величины первого заряда и установите величину заряда q_1 , указанную

в таблице 1 для вашей бригады. Заряд q_3 поместите под первым, а его величину установите равной 0. Заряд q_2 установите равным $1 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Перемещайте, нажав левую кнопку мыши, заряд q_2 вправо, устанавливая расстояния r_{12} до первого заряда, указанные в табл. 1. Измеренные в данных точках значения $E_1 = F_{12} / q_2$ занесите в соответствующую строку таблицы по форме 1. Повторите измерения для трех других значений заряда q_1 из табл. 1, записывая в таблицу по форме 1 значения E_2 , E_3 и E_4 .

Эксперимент 2. Исследование поля диполя

Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора величины второго заряда диполя (q_3) и зафиксируйте значение заряда, указанное в табл. 1 для вашей бригады, изменив знак на противоположный. Переместите заряд q_3 так, чтобы электрический момент диполя был вертикальным, а плечо диполя ($L=r_{13}$) было равно 10 см.

Перемещайте мышью заряд q_2 по линии, перпендикулярной оси диполя (горизонтально), удерживая левую кнопку мыши. На расстояниях r от оси диполя, указанных в таблице по форме 1, измерьте и занесите значения $E_1 = (F_{12} / q_2) (L/r_{12})$ в таблицу, аналогичную таблице по форме 1 (кроме второй строки, в которой здесь надо записать $(1/r^3 \text{ м}^{-3})$). Повторите измерения для трех других значений зарядов q_1 (и q_3) из табл. 1, значения E_2 , E_3 и E_4 записывая в таблицу результатов измерений.

Обработка результатов и оформление отчета

1. Вычислите и заполните вторые строки первой и третьей таблиц, составленные по форме 1.
2. Постройте на одном листе графики зависимости напряженности ЭП (E) точечного заряда от квадрата обратного расстояния ($1/r^2$).
3. Постройте на втором листе графики зависимости напряженности ЭП (E) на оси диполя от куба обратного расстояния ($1/r^3$).
4. По тангенсу угла наклона графиков на каждом из двух листов определите электрическую постоянную, используя формулы

$$\varepsilon_0 = \frac{q_1}{4\pi} \frac{\Delta\left(\frac{1}{r^2}\right)}{\Delta(E)} \text{ для первого графика}$$

и

$$\varepsilon_0 = \frac{p}{4\pi} \frac{\Delta\left(\frac{1}{r^3}\right)}{\Delta(E)} \text{ для второго графика (для больших расстояний } r\text{).}$$

5. Вычислите среднее значение электрической постоянной.
6. Запишите ответы и проанализируйте ответ и график.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое электрическое поле (ЭП)?
2. Назовите источники ЭП.
3. Перечислите и разьясните основные свойства заряда.
4. Какая сила действует между зарядами?
5. Дайте определение линии напряженности ЭП. Зачем их рисуют?
6. Запишите закон Кулона.
7. Запишите формулу для напряженности поля точечного заряда.
8. Сформулируйте принцип суперпозиции для ЭП.
9. Дайте определение потока ЭП.
10. Сформулируйте и запишите закон Гаусса для ЭП.
11. Что такое электрический диполь?
12. Запишите и разьясните формулу дипольного (электрического) момента.
13. Сформулируйте и запишите формулу для ЭП на оси диполя.
14. Что такое магнитный момент витка с током?
15. Какую форму имеет линия поля, проходящая через центр диполя?
16. Что такое потенциал ЭП и для чего он используется?
17. Что такое градиент?