

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2_6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником (Савельев, 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. Необходимое запишите в свой конспект.

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.

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

Основные СВОЙСТВА электрического заряда:

1. Заряд ИНВАРИАНТЕН – его величина одинакова при измерении в любой инерциальной системе отсчета.
2. Заряд СОХРАНЯЕТСЯ – суммарный заряд изолированной системы тел не изменяется.
3. Заряд АДДИТИВЕН – заряд системы тел равен сумме зарядов отдельных тел.
4. Заряд ДИСКРЕТЕН – заряд любого тела по величине кратен минимальному заряду, который обозначается символом e и равен $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
5. Существуют заряды ДВУХ разных «сортов». Заряды одного «сорта» называются положительными, а другого «сорта» - отрицательными. Одноименные заряды 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 заряд будет действовать электрическая (кулоновская) $\vec{F}_{Эл}$, 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.

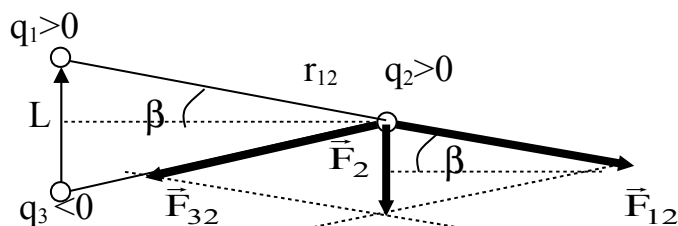
ПОТЕНЦИАЛОМ данной точки \vec{r} ЭП называется скалярная характеристика ЭП, численно равная работе сил поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в другую фиксированную точку \vec{r}_0 , в которой потенциал принят за 0 (например, в бесконечность): $\varphi(\vec{r}) = \int_{\vec{r}}^{\vec{r}_0} \vec{E} d\vec{r}$.

Уравнение, выражающее напряженность через потенциал: $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}(\varphi)$, где оператор градиента $\overrightarrow{\text{grad}} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right\} \equiv \vec{\nabla}$.

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 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 зарисуйте необходимое в конспект:

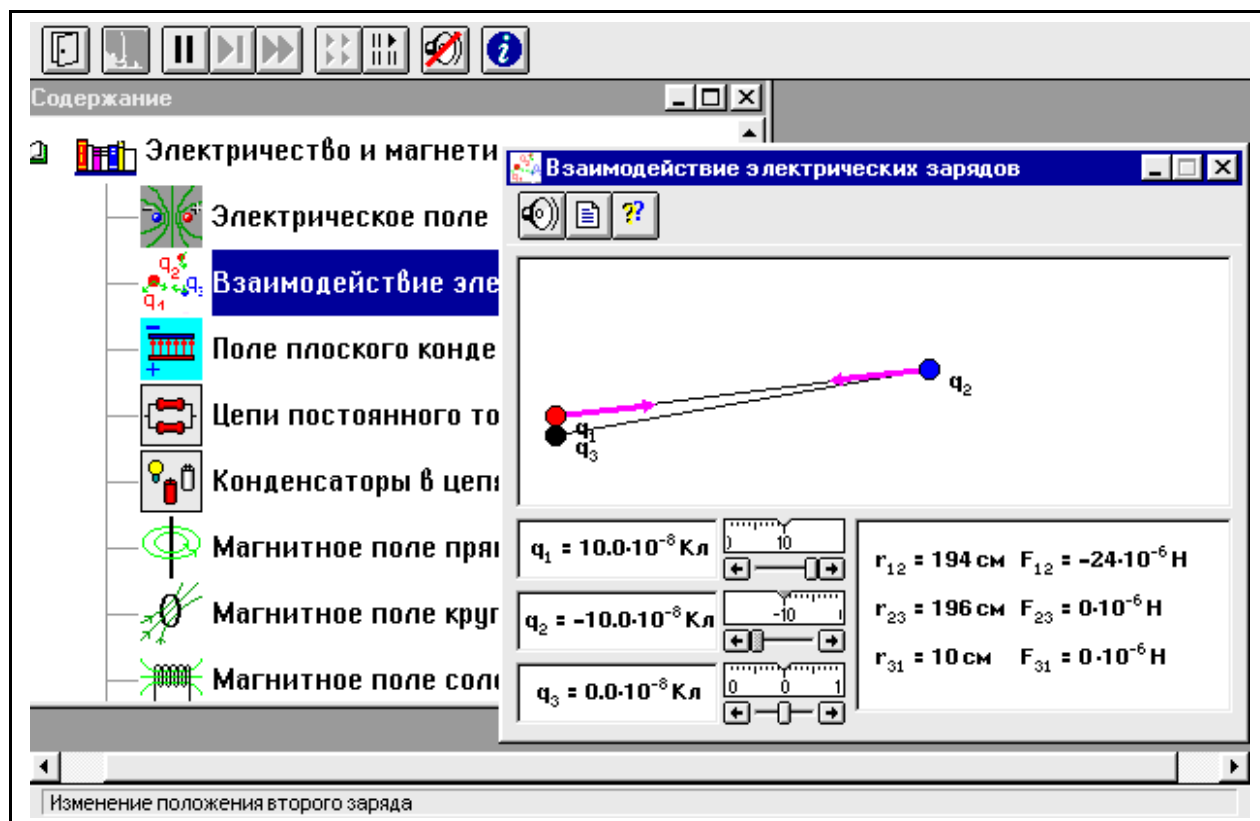


ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ (9 столбцов)

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				

ТАБЛИЦА 2. 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

Подготовьте таблицу 1, используя образец. Подготовьте также таблицы 3 и 4, аналогичные табл.1, за исключением второй строчки, содержание которой см. в следующем разделе.

Получите у преподавателя допуск для выполнения 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 2 для вашей бригады. Заряд q_3 поместите под первым, а его величину установите равной 0. Заряд q_2 установите равным 10^{-8} Кл.

Перемещайте, нажав левую кнопку мыши, заряд q_2 вправо, устанавливая расстояния r_{12} до первого заряда, указанные в таблице 1. Измеренные в данных точках значения $E_1 = F_{12} / q_2$ занесите в соответствующую строку табл.1. Повторите измерения для трех других значений заряда q_1 из табл.2, записывая в табл.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 таблице 2 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 1, измерьте и занесите значения $E_1 = (F_{12} / q_2) (L / r_{12})$ в табл.3, аналогичную табл.1 (кроме второй строки, в которой здесь надо записать $(1/r^3)$ (m^{-3})). Повторите измерения для трех других значений зарядов q_1 (и q_3) из табл.2, записывая в табл.3 значения E_2 , E_3 и E_4 .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в таблицы 1 и 3 значения для второй строки.
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 постоянную, используя формулы

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

для первого чертежа и

$$\varepsilon_0 = \frac{p}{4\pi} \frac{\Delta\left(\frac{1}{r^3}\right)}{\Delta(E)}$$

для второго (для больших расстояний r).

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 разъясните 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 разъясните 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?