



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Практикум

(виртуальный)

Лабораторная работа № 12-В
«Моделирование электрического
поля на ЭВМ»
по дисциплине

«Физика»

Авторы

Жданова Т. П.,

Кудря А. П.,

Лемешко Г. Ф.,

Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Настоящая лабораторная работа посвящена моделированию электростатического поля, созданного системой точечных зарядов, на ЭВМ.

Методические указания предназначены для организации самостоятельной работы студентов всех форм обучения, изучающих физику, при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Жданова Т.П.,

ст. преподаватель кафедры «Физика»
Кудря А.П.,

к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»
Лемешко Г.Ф.,

ст. преподаватель кафедры «Физика»
Холодова Ю.М.



Оглавление

Краткая теория	4
Подготовка к работе	8
Экспериментальная часть	10
Контрольные вопросы	12
Литература	12

Цель работы: 1) познакомиться с графическими методами представления электрических полей на ЭВМ;
2) моделирование на плоскости электрического поля, созданного системой точечных зарядов.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Вокруг заряженных тел существует электрическое поле, обнаружить которое можно с помощью пробного заряда q_0 (положительный единичный точечный заряд).

На внесенный в электрическое поле пробный заряд действует сила \vec{F} , отношение которой к величине пробного заряда q_0 равна **напряженности** электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (1)$$

Так, например, если электрическое поле в вакууме создано точечным зарядом q , то величина силы, действующей на пробный заряд, определяется законом Кулона:

$$\vec{F} = \frac{q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r} \quad \text{или} \quad F = \frac{|q| \cdot |q_0|}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (2)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная; \vec{r} – радиус-вектор, проведённый от одного заряда к другому.

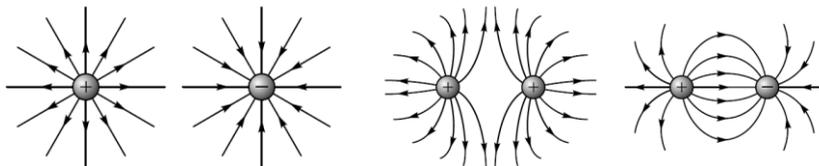
Подставив (2) в (1), получим напряженность поля точечного заряда на расстоянии r от заряда q :

$$\vec{E} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r} \quad \text{или} \quad E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (3)$$

Для наглядного представления структуры электрического поля пользуются силовыми линиями. **Силовой линией** (линией напряжённости электрического поля) называют линию, в каждой точке которой вектор напряженности \vec{E} направлен по касательной. Направление вектора \vec{E} в каждой точке виртуального электростатического поля отображается одинаковыми стрелочками, названными «изоклинами».

Силовые линии поля, созданного положительным точечным зарядом, направлены по радиусу от заряда, а силовые линии поля, созданного отрицательным точечным зарядом, – к заряду.

Силовые линии любого электрического поля не пересекаются и не прерываются в пространстве.



Для определения величины напряженности поля, условились на графиках проводить силовые линии с определенной густотой, а именно так, чтобы число силовых линий, проходящих через единичную поверхность, перпендикулярную к силовым линиям, было пропорционально величине напряженности поля в данном месте.

Второй важной характеристикой электрического поля является **потенциал**, определяемый отношением потенциальной энергии W_p пробного заряда q_0 в электрическом поле, к величине этого заряда:

$$\varphi = W_p / q_0. \quad (4)$$

Потенциал поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r , определяется формулой:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (5)$$

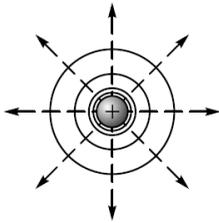
Если в электрическом поле выделить две точки, в которых пробный заряд обладает потенциальными энергиями W_{p1} и W_{p2} , то разность потенциалов между указанными точками в соответствии с (4), равна:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_{p1} - W_{p2}}{q}. \quad (6)$$

Разность потенциальных энергий равна работе электрического поля по перемещению пробного заряда между указанными точками поля.

Из (5) следует, что вокруг точечного заряда q можно провести сферу радиусом r , имеющую потенциал φ .

Воображаемые поверхности, все точки которой имеют одинаковый потенциал, называют **эквипотенциальными**. Если поле создается точечным зарядом, то эквипотенциальные поверхности - концентрические окружности. Линии напряженности в случае точечного заряда - радиальные прямые, следовательно, они всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.



Если электрическое поле создано системой точечных зарядов, то напряженность и потенциал в некоторой точке поля определяются в соответствии с *принципом суперпозиции*:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad \text{и} \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

(8)

где \vec{E}_i и φ_i – вектор напряженности и потенциал электрического поля, созданного в искомой точке точечным зарядом q_i .

Важное теоретическое и практическое значение имеет рассмотрение структуры электрического поля, созданного *электрическим диполем*.

Электрическим диполем называется система, состоящая из двух равных по величине и противоположных по знаку точечных зарядов, расположенных друг от друга на расстоянии l (*плечо диполя*). Плечо диполя - вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному (рис. 1).

Произведение заряда на плечо диполя называется *электрическим моментом* или *дипольным моментом*: $\vec{p} = q\vec{l}$.

(9)

Для нахождения напряжённости (или потенциала) поля, создаваемого диполем, необходимо найти напряжённость (или потенциал) поля, создаваемого каждым зарядом, а затем их сложить. При этом надо помнить, что напряжённость – это векторная величина, а потенциал – скалярная.

Если расстояние от диполя во много раз больше плеча диполя, т.е. $r \gg l$, то в произвольной точке электрического поля потенциал и модуль вектора напряженности определяются формулами:

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot l \cdot \cos \alpha}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cdot \cos \alpha}{r^2}; E = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \alpha}$$

где p – дипольный момент, α – угол между дипольным моментом и радиусом-вектором, проведенным в выбранную точку поля.

Когда расстояние r соизмеримо с размерами плеча диполя l , то для вычисления потенциала и напряженности в определенной точке электрического поля используют принцип суперпозиции.

Рассчитаем модуль напряжённости поля в точке A , на оси диполя, и в точке B , находящейся на линии, перпендикулярной оси и проходящей через центр диполя (рис.1).

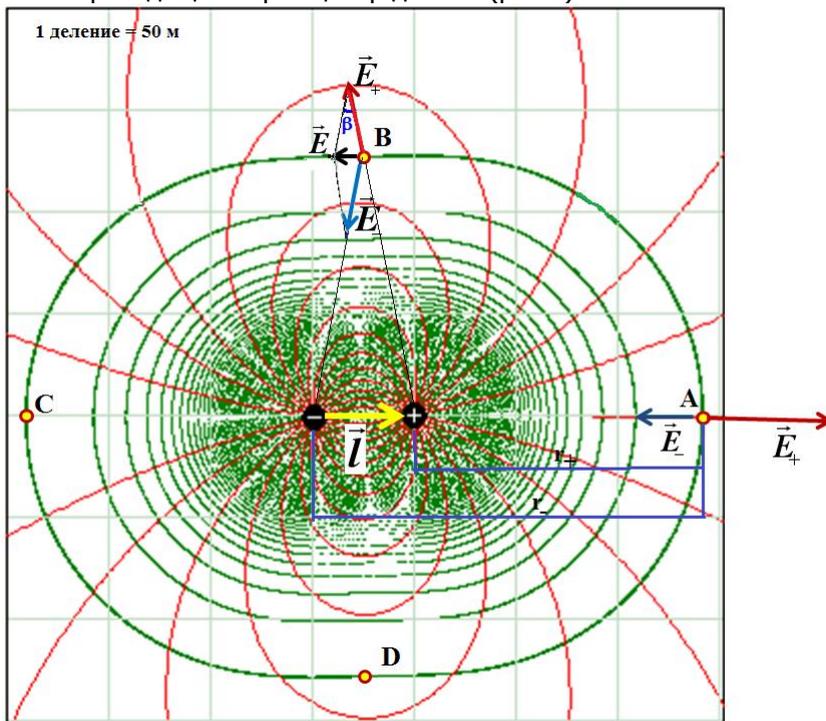


Рис.1

По правилу сложения векторов находим модули напряжённости в точках A и B :

$$E_A = E_+ - E_-, \quad (10)$$

$$E_B = \sqrt{E_+^2 + E_-^2 - 2E_+E_- \cos \beta}. \quad (11)$$

Напряжённость, создаваемая каждым зарядом в выбранной точке поля, определяется по формулам

$$E_+ = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r_+^2}, \quad E_- = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r_-^2}, \quad (12)$$

где r_+ , r_- - расстояния от данного заряда до искомой точки.

Из рисунка находим $\cos \beta = \frac{r_-^2 + r_+^2 - l^2}{2r_+ r_-}$. (13)

Потенциал поля диполя находится как алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых каждым зарядом:

$$\Phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q}{r_+} - \frac{q}{r_-} \right]. \quad (14)$$

На рис.2 приведены конфигурация эквипотенциальных поверхностей электрического поля диполя и направление в нем линий напряженности (показаны с помощью «изоклинов»).

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Открыть папку «Electric» и файл «Эл. поле».
2. В появившемся активном окне «Модель электрического поля» (рис.2) познакомьтесь с функциональными клавишами, расположенными на панели управления.

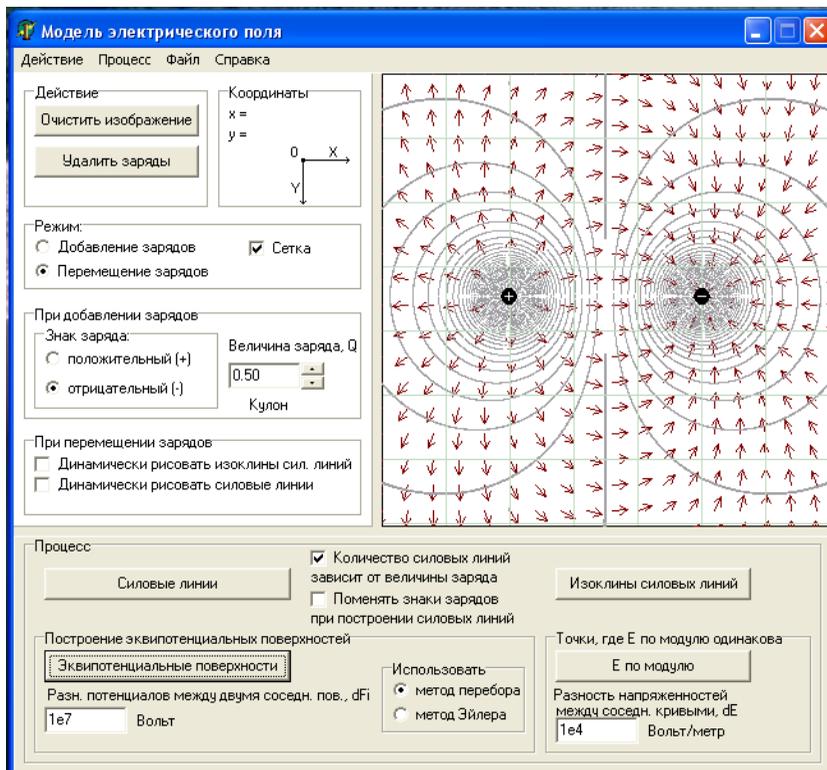


Рис. 2

4. Величину заряда и его знак устанавливают в окошках «Величина заряда q », «Знак заряда».

5. Положение зарядов на плоскости впоследствии можно изменять с помощью указателя мыши, предварительно установив режим «Перемещение зарядов».

6. Линии одинаковой напряженности получают после нажатия клавиши «E по модулю».

7. Конфигурацию силовых линий, эквипотенциальных поверхностей и изоклинов (см. рис.2) получают после нажатия клавиш: «Изоклины силовых линий», «Силовые линии», «Эквипотенциальные поверхности». Если на демонстрационной плоскости преобладают отрицательные заряды, то устанавливают флажок в окошке «Поменять знаки зарядов при построении силовых линий».

8. Предусмотрена динамическая прорисовка силовых линий и их изоклинов при перемещении зарядов по плоскости.

Для этого необходимо установить флажки в окошках «Динамически рисовать силовые линии», «Динамически рисовать изоклины».

9. Клавишей «Очистить изображение» стирают изображение эквипотенциальных поверхностей, силовых линий и их изоклинов, а клавишей «Удалить заряды» - очищают демонстрационную плоскость от зарядов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование стационарного поля диполя на плоскости одинаковой напряженности

1. Установить на плоскости два разноимённых одинаковых по модулю заряда. Записать их величину в таблицу.
2. По заданию преподавателя отметить на рисунке плоскость одинаковой напряженности нажав клавишу «E по модулю».
3. Выбрать точку (A) на оси диполя на линии одинаковой напряжённости (рис.1), занести в таблицу r_+ и r_- (расстояния от зарядов до точки, в которой ищется поле). В этом случае угол α , соответствующий направлению от центра диполя равен 0.
4. Вычислить по формулам (10) и (12) E_+ , E_- и E . Занести в таблицу.
5. Вычислить потенциал в точке A по формуле (14).
6. Выбрать точку на линии, перпендикулярной оси и проходящей через центр диполя (B) (рис.1), занести в таблицу r_+ и r_- (расстояния от зарядов до точки, в которой ищется поле). В этом случае угол α , соответствующий направлению от центра диполя равен 90° . (r_+ и r_- находятся по теореме Пифагора).
7. Вычислить по формулам (11) и (12) E_+ , E_- и E . По формуле (13) найти $\cos \beta$. Занести в таблицу.
8. По формуле (14) вычислить потенциал в точке B .
9. Повторить пункты 3-5 для угла $\alpha = 180^\circ$ (точка C).
10. Повторить пункты 6-8 для угла $\alpha = 270^\circ$ (точка D).

11. Вычислить среднее значение модуля вектора напряженности.
12. Вычислить абсолютные погрешности отдельных измерений ΔE_i и среднее значение абсолютной погрешности $\langle \Delta E \rangle$.
13. Вычислить относительную погрешность δE по формуле

$$\delta E = \frac{\langle \Delta E \rangle}{\langle E \rangle} 100\%$$

α	q	r_+	r_-	E_+	E_-	E	ΔE	δE	φ
град	Кл	м	м	В/м	В/м	В/м	В/м	%	В
0									
90									
180									
270									
<Ср>									

14. Вычислить плотность энергии в точках поверхности одинаковой напряженности, по формуле $\omega = \frac{\varepsilon_0 \langle E \rangle^2}{2}$.
15. По проделанной работе сделать вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется напряжённостью электростатического поля? Единица измерения.
2. Что называется потенциалом электростатического поля? Единица измерения.
3. Запишите формулы напряжённости и потенциала поля точечного заряда.
4. Что называется разностью потенциалов электростатического поля?
5. Каков смысл принципа суперпозиции электрических полей?
6. Что называется силовой линией?
7. Что такое эквипотенциальная поверхность?
8. Как сориентированы относительно друг друга силовые линии и эквипотенциальные поверхности?
9. Что называется диполем?
10. Что называется электрическим моментом диполя?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Грабовский Р.И. Курс физики - СПб.: Лань, 2012