

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Методические указания
к лабораторной работе № 31
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2010

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 31
по дисциплине «Физика»

Уфа 2010

Составитель Е.В. Трофимова

УДК 537.2 (07)

ББК 22.33 (Я7)

Исследование электростатического поля: Методические указания к лабораторной работе № 31 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е.В. Трофимова – Уфа, 2010. – 11 с.

Приведены краткая теория, метод измерения, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета.

Предназначены для студентов I и II курса всех специальностей, изучающих дисциплину «Физика».

Ил. 3. Библ.: 2 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доцент Афанасьева А.М.,
д-р физ.-мат. наук, проф. Фахретдинов И.А.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2010

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 31
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2009. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
3. Приборы и принадлежности	9
4. Описание установки	10
5. Требования по технике безопасности	10
6. Порядок выполнения работы.....	11
8. Контрольные вопросы	11
Список литературы.....	11

Лабораторная работа № 31

Исследование электростатического поля

1. Цель работы

Экспериментальное исследование электростатического поля и изображение его при помощи силовых линий и сечений эквипотенциальных поверхностей (линий равного потенциала).

2. Теоретическая часть

Все тела в природе способны электризоваться, т.е. приобретать электрический заряд. Наличие электрического заряда проявляется в том, что заряженное тело взаимодействует с другими заряженными телами. Электрический заряд называется точечным, если он сосредоточен в теле, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел.

Опыт показывает, что сила взаимодействия между двумя точечными зарядами по модулю прямо пропорциональна величинам зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Она направлена вдоль прямой, соединяющей заряды, и является силой притяжения в случае разноименных и силой отталкивания – в случае одноименных зарядов (рис. 2.1).

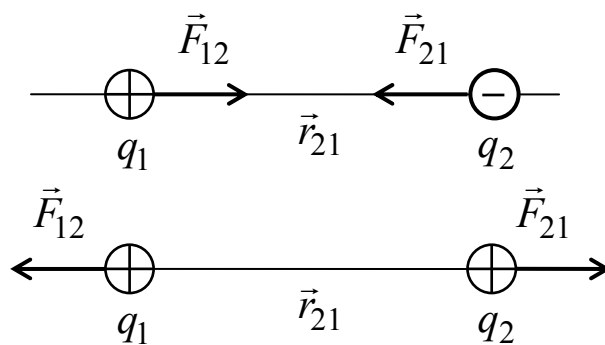


Рис. 2.1

Эта сила носит название закона Кулона и записывается в виде формулы

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (2.1)$$

Коэффициент k зависит от выбора системы единиц измерения. В системе СИ единицей заряда является 1 Кл (кулон). Сила измеряется в ньютонах, расстояние в метрах. Для согласования единиц измерения с результатами опытов коэффициент k в системе СИ должен быть равен $9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$. Этот коэффициент часто представляют в виде $k = 1 / (4\pi\epsilon_0)$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, величина ϵ_0 называется электрической постоянной.

Взаимодействие между покоящимися зарядами осуществляется через электрическое поле. Всякий заряд изменяет свойства окружающего пространства: создает в нем электрическое поле. Поле неподвижных зарядов не меняется со временем и называется электростатическим. Оно проявляет себя в том, что если в некоторую точку пространства поместить пробный электрический заряд, то на него будет действовать сила. Пробным называется настолько малый положительный точечный заряд, чтобы при его внесении в поле можно было пренебречь перераспределением заряда на телах, создающих поле.

Напряженностью электрического поля называют силу, действующую на помещенный в данное поле единичный пробный заряд

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}} \quad (2.2)$$

Если поле создано точечным зарядом q_0 , то сила, действующая на пробный заряд $q_{\text{пр}}$, определится из закона Кулона

$$\vec{F} = \frac{q_0 q_{\text{пр}}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r} \quad \text{или} \quad \vec{F} = \frac{q_0 q_{\text{пр}}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad (2.3)$$

где \vec{F} – сила, действующая на заряд $q_{\text{пр}}$ со стороны заряда q_0 , \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из точки 1, где находится заряд q_0 в точку 2, где находится заряд $q_{\text{пр}}$ (рис. 2.2).

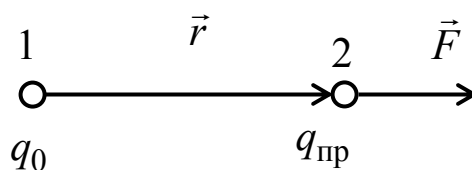


Рис. 2.2

Из соотношений (2.2) и (2.3) следует, что точечный заряд q_0 создает вокруг себя электрическое поле с напряженностью

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad (2.4)$$

где r – радиус-вектор точки пространства, проведенный из точки, в которой находится заряд q_0 (рис. 2.2).

Если электрическое поле создается системой зарядов, то напряженность поля в данной точке определяется по принципу суперпозиции

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i = \sum_{i=1}^N \frac{q_i \vec{r}_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^3}, \quad (2.5)$$

где q_i – величина заряда с номером i , \vec{r}_i – радиус-вектор точки, в которой определяется напряженность, проведенный из той точки, где находится заряд q_i .

Для наглядного изображения электрических полей пользуются методом силовых линий. Силовая линия есть математическая линия, направление касательной к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряженности электрического поля в той же точке. Линии \vec{E} поля точечного заряда представляют собой совокупность радиальных прямых, направленных от заряда, если он положителен, и к заряду, если он отрицателен (рис. 2.3).

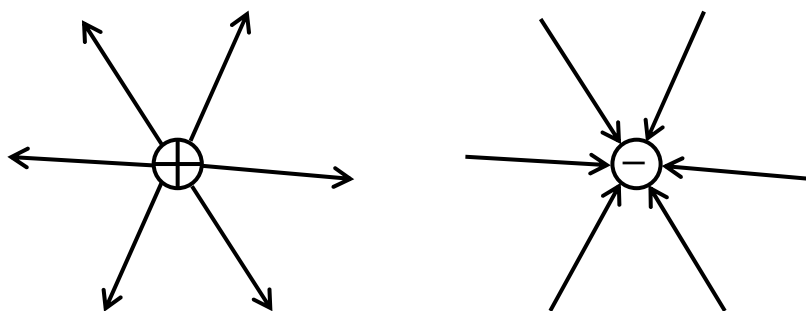


Рис. 2.3

Работа сил электрического поля, созданного точечным зарядом q_0 , по перемещению заряда q из точки 1 в точку 2 вычисляется через криволинейный интеграл (все обозначения на рис. 2.4).

$$\begin{aligned}
 A_{12} &= \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = q \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = q \int_1^2 E dl \cos \alpha = \\
 &= q \int_1^2 E dr = q \int_{r_1}^{r_2} \frac{q_1 dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{q q_1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

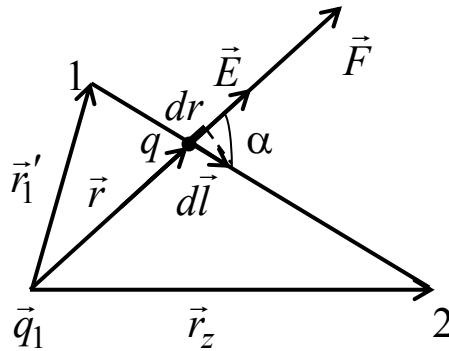


Рис. 2.4

Из формулы (2.6) следует, что работа сил электростатического поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2 не зависит от формы пути, а зависит лишь от положения начальной (1) и конечной (2) точек. Такое поле называется потенциальным.

Работу, совершаемую силами поля при перемещении единичного положительного заряда по произвольному пути из точки 1 в точку 2, называют разностью потенциалов

$$A_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) q. \quad (2.7)$$

В теории за нулевой потенциал принимается потенциал на бесконечности. Таким образом, электростатический потенциал можно определить как работу, совершаемую силами поля, при перемещении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность. Из сравнения формул (2.6) и (2.7) видно, что потенциал поля точечного заряда q_1 на расстоянии r от него равен $\varphi = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r}$.

Единицей измерения потенциала в системе СИ является 1 вольт: $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/1Кл}$.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 можно выразить через напряженность поля

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q} = \frac{1}{q} \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = - \int_2^1 \vec{E} d\vec{l}. \quad (2.8)$$

Напряженность поля можно определить, если известны значения потенциала в каждой точке пространства

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{e}_x - \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{e}_y - \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{e}_z. \quad (2.9)$$

Векторная функция $\vec{\nabla}\varphi$ скалярной величины φ называется её градиентом. Из соотношения (2.9) следует размерность напряженности электрического поля: в системе СИ единицей напряженности является 1 В/м.

Поверхность в пространстве, во всех точках которой потенциал имеет одно и тоже значение, называется эквипотенциальной (рис. 2.5).

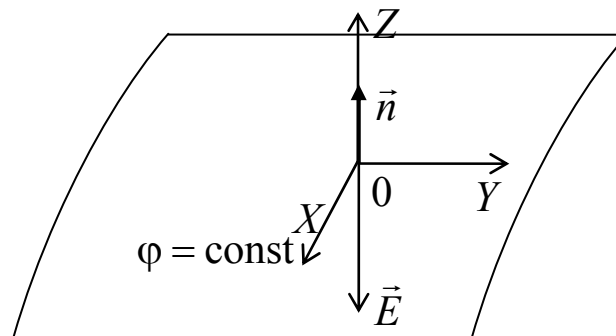


Рис. 2.5

На рис. 2.5 оси X и Y являются касательными к эквипотенциальной поверхности $\varphi = \text{const}$. Значит, в направлении осей X и Y потенциал не меняется, а следовательно производные $\frac{\partial\varphi}{\partial x} = \frac{\partial\varphi}{\partial y} = 0$. Ось Z направлена по нормали \vec{n} к эквипотенциальной

поверхности в сторону возрастания величины потенциала. Поскольку только производная $\frac{\partial\varphi}{\partial z}$ отлична от нуля, то $\vec{\nabla}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{n}$, и функция φ

наиболее быстро возрастает в направлении нормали \vec{n} к эквипотенциальной поверхности.

Вектор $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$ направлен в сторону наибольшего убывания потенциала. Силовые линии электростатического поля нормальны к эквипотенциальным поверхностям.

В данной работе предлагается определить положение линий равного потенциала, которые ортогональны (нормальны) силовым линиям поля, и затем построить силовые линии.

В основу изучения распределения потенциалов в электростатическом поле часто кладется так называемый метод зондов. Его сущность заключается в следующем: в исследуемую точку поля вводится специальный дополнительный электрод-зонд, по возможности так устроенный, чтобы он минимально нарушал своим присутствием исследуемое поле. Этот зонд соединяется проводником с прибором, измеряющим приобретенный зондом в поле потенциал по отношению к какой-нибудь избранной за начало отсчета точке поля. При этом необходимо обеспечить такие условия, чтобы этот зонд принял потенциал той точки поля, в которую он помещен. Только тогда показания прибора, соединенного с зондом, будут давать правильную картину распределения потенциала в исследуемом поле.

Электростатическое поле моделируется электрическим полем стационарных токов. Силовые линии поля совпадают с линиями стационарных токов согласно закону Ома

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

где \vec{j} – плотность тока, σ – удельная электропроводность вещества.

Опыт показывает, что электрические заряды, участвующие в стационарном токе, создают в пространстве такие же кулоновские поля, как и неподвижные заряды. Электрическое поле стационарных токов потенциально.

Замена изучения поля неподвижных зарядов изучением поля тока дает возможность применить в качестве зондов металлические электроды, так как в проводящей среде автоматически происходит выравнивание потенциала зонда и потенциала данной точки поля.

3. Приборы и принадлежности

1. Источник питания
2. Вольтметр
3. Сосуд с электродами

4. Описание установки

Измерительная схема представлена на рис. 4.1.

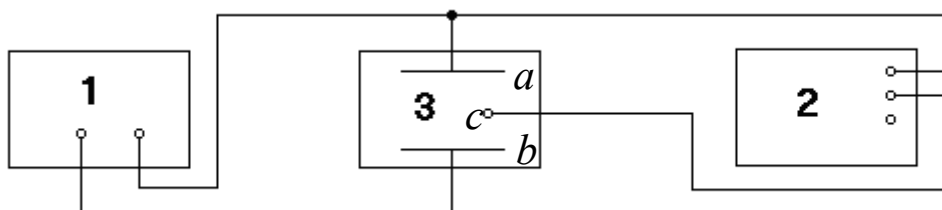


Рис. 4.1. Измерительная схема:

1 – источник питания, 2 – вольтметр, 3 – сосуд, a , b – электроды, между которыми создается разность потенциалов $\Delta\varphi_0$, c – зонд

С помощью зонда измеряется разность потенциалов $\Delta\varphi$ между электродом a и точкой, в которую помещен зонд c . Электроды и зонд помещены в ванну с водой. На крышке ванны сделаны прорезы, вдоль которых можно перемещать зонд. По длине каждой прорези нанесены деления с ценой 1 см. Расстояние между прорезями 3 см.

5. Требования по технике безопасности

Для электропитания лабораторной установки используется сетевое напряжение 220 В. Все токоведущие части установки, кроме соединений проводников с электродами, закрыты, что исключает их случайные касания.

При выполнении работ необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием.
2. Визуально проверить целостность изоляции токоведущих проводов.
3. Не оставлять без присмотра включенную лабораторную установку.
4. Не загромождать рабочее место посторонними предметами и оборудованием, не относящимся к выполняемой работе.
5. Держать зонд за изолирующую рукоятку.
6. О замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.
7. По окончании работы отключить установку от сети, привести в порядок рабочее место.

6. Порядок выполнения работы

1. Зарисовать в удобном масштабе вид на ванну сверху. Нанести расположения электродов, прорезей и делений.

2. Проведя зонд от одного до другого края прорези в средней части ванны, определить интервал изменения разности потенциалов $\Delta\varphi$ при перемещении зонда. Выбрать из этого интервала 5 значений $\Delta\varphi$ с равным шагом между ними.

3. Проставить в тетради на рисунке (смотри п.1) координаты точек, соответствующих выбранным значениям $\Delta\varphi$.

4. Соединить линиями точки, соответствующие одинаковым значениям разности потенциалов $\Delta\varphi$. Вы получили линии равного потенциала поля, созданного заряженными пластинами a и b . Линии равного потенциала на поверхности воды в сосуде представляют собой линии пересечения этой поверхности с эквипотенциальными поверхностями электростатического поля между электродами a и b .

5. Построить силовые линии электрического поля, нормальные найденным линиям равного потенциала.

7. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Основные определения из теоретической части.
3. Схему лабораторной установки.
4. Графическое изображение линий равного потенциала с указанием значений потенциала на каждой линии и силовых линий электростатического поля с указанием стрелками направления напряженности.
5. Вывод по результатам работы.

8. Контрольные вопросы

1. Какое поле называется электростатическим?
2. Каков физический смысл напряженности электростатического поля?
3. Что такое потенциал электростатического поля?
4. Как устроен прибор для изучения электростатического поля?
5. Как графически изображаются электростатические поля?

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики, в 3 кн. – М.: Наука, 2007, кн.2.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2007.