

Федеральное агентство по образованию  
Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М. Ф. Решетнева

УДК 537.2 (075.5)

**Исследование электростатического поля:** Метод. указания  
к выполнению лабораторной работы 2 / Сост.: Т. А. Слинкина,  
Л. И. Чернышова; СибГАУ. Красноярск, 2005. 20 с.

В методической разработке приведены краткая теория, описание экспериментальной установки и порядок выполнения работы. Даны вопросы и список рекомендуемой литературы, необходимой для подготовки, проведения и защиты работы. По содержанию и объему работа соответствует программе курса общей физики для высших технических заведений.

© Сибирский государственный аэрокосмический  
университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2005.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

*Методические указания к выполнению  
лабораторной работы 2*

Красноярск 2005

Подписано в печать 12.01.2005. Формат 60×84/16. Бумага офисная.  
Гарнитура «Таймс». Печать плоская. Уч-изд. л. 1,4. Усл. п. л. 1,16.  
Тираж 200 экз. Заказ С

Отпечатано в отделе копировально-множительной техники СибГАУ.  
660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.

## Лабораторная работа 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

*Цель работы:* изучить электростатическое поле.

*Приборы и принадлежности:* электроды разной формы, вольтметр, низкоомный реостат, зонд, выпрямитель, ванночка с водой.

#### 1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

##### 1.1. Электрическое поле. Напряженность поля

Кулоновское взаимодействие между неподвижными электрическими заряженными частицами или телами осуществляется посредством создаваемого ими *электростатического поля*. Оно представляет собой стационарное, т. е. не изменяющееся с течением времени, *электрическое поле* неподвижных электрических зарядов. Это поле является частным случаем *электромагнитного поля*, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими заряженными частицами, движущимися в общем случае произвольным образом относительно системы отсчета.

Характерное свойство электрического поля, отличающее его от других физических полей, состоит в том, что оно действует как на движущиеся, так и на *неподвижные* заряды (заряженные частицы и тела). Поэтому существование электрического поля можно обнаружить по его действию на неподвижный «пробный заряд».

*Пробным зарядом*  $q_0$  называют любой точечный заряд, который своим полем не искажает то поле, в которое он вносится.

Электростатическое поле в каждой его точке характеризуется векторной величиной  $E$ , называемой *напряженностью*, и скалярной величиной  $\varphi$  – *потенциалом*.

Изучить поле – это фактически установить, по какому закону изменяются  $E$  и  $\varphi$  в зависимости от координат точек поля.

**Напряженностью электростатического поля называют величину, численно равную силе, действующей на единичный положительный пробный заряд, помещенный в данную точку поля.** Если на пробный заряд  $q_0$  действует сила  $F$ , то очевидно,

$$E = \frac{F}{q_0}, \text{ или в векторной форме } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (1)$$

На основании выражения (1) можно вывести единицу напряженности. В СИ за единицу напряженности поля принимается напряженность в такой его точке, где на заряд 1 Кл действует сила в 1 Н:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Рассмотрим наиболее простое поле – поле точечного заряда  $q$ . На точечный заряд  $q_0$  оно действует с силой, модуль которой определяется по закону Кулона:

$$F = k \cdot \frac{|q| \cdot |q_0|}{\epsilon \cdot r^2}, \quad (2)$$

где  $r$  – расстояние между взаимодействующими зарядами;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $k$  – коэффициент пропорциональности, который определяется выбором системы единиц. В СИ  $k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0}$ , где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м (или Кл<sup>2</sup>/Нм<sup>2</sup>) – электрическая

постоянная. Подставим значение  $F$  из равенства (2) в равенство (1) и получим выражение для определения модуля напряженности поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r^2}. \quad (3)$$

Если поле создается одновременно несколькими зарядами  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , то в каждой точке пространства напряженность поля, создаваемого одним из этих зарядов, не зависит от того, создаются ли поля в этом пространстве другими зарядами. Этот опытный факт получил название *принципа суперпозиции*. Очевидно, что напряженность  $\vec{E}$  результирующего поля находится как векторная сумма напряженностей полей, созданных отдельными зарядами:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (4)$$

Исходя из этого принципа, можно найти напряженность поля, созданного зарядами  $+q_1$  и  $-q_2$  в точках поля  $A$  и  $B$  геометрическим сложением векторов  $\vec{E}_A$  и  $\vec{E}_B$  (рис. 1).

Если заряды непрерывно распределены вдоль некоторой линии, поверхности или объема, то вводят понятия соответственно линейной, поверхностной и объемной плотностей зарядов.

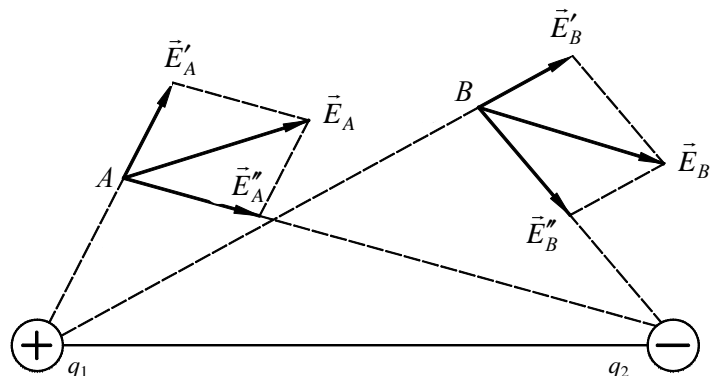


Рис. 1

*Линейная плотность электрических зарядов*

$$\tau = \frac{dq}{dl}, \quad (5)$$

где  $dq$  – заряд малого участка длиной  $dl$ .

*Поверхностная плотность заряда*

$$\sigma = \frac{dq}{dS}, \quad (6)$$

где  $dq$  – заряд малого участка поверхности площадью  $ds$ .

*Объемная плотность заряда*

$$\rho = \frac{dq}{dV}, \quad (7)$$

где  $dq$  – заряд малого элемента объема  $dV$ .

В случае непрерывного распределения электрических зарядов

$$\vec{E} = \int d\vec{E}, \quad (8)$$

Интегрирование производится по области, где распределены заряды. Задача изучения электростатического поля облегчается введением линий напряженности или силовых линий.

*Силовой линией* электростатического поля называется линия, в каждой точке которой напряженность  $\vec{E}$  поля направлена по касательной (рис. 2).

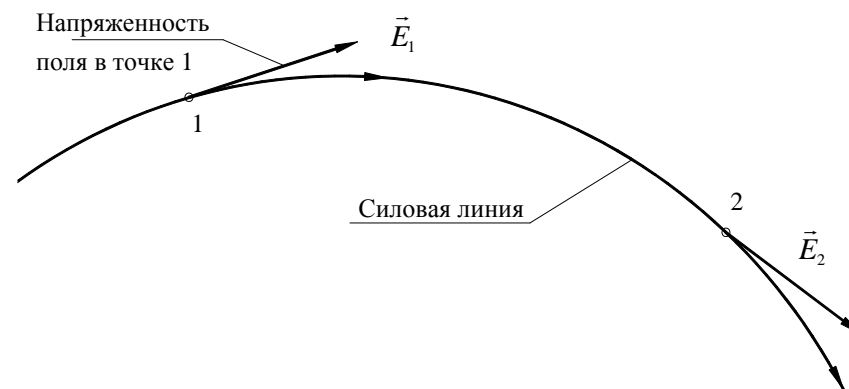


Рис. 2

Силовые линии поля точечного заряда – расходящиеся от заряда лучи, если он положителен (рис. 3, а), и сходящиеся к заряду лучи, если он отрицателен. Силовые линии поля, созданного двумя точечными зарядами  $+q_1$  и  $-q_2$  – кривые, направленные от положительного заряда к отрицательному (рис. 3 б). силовые линии никогда не пересекаются в пространстве, так как напряженность в каждой точке поля имеет одно значение (модуль и направление).

*Поле называется однородным*, если напряженность  $\vec{E}$  во всех его точках одинакова. Такое поле представляется системой равноотстоящих друг от друга параллельных силовых линий (рис. 4).

Для неоднородных полей в областях, где напряженность больше, гуще проходят и силовые линии. Это весьма важный факт, так как по картине силовых линии любого электростатического поля можно указать участки с наибольшей напряженностью.

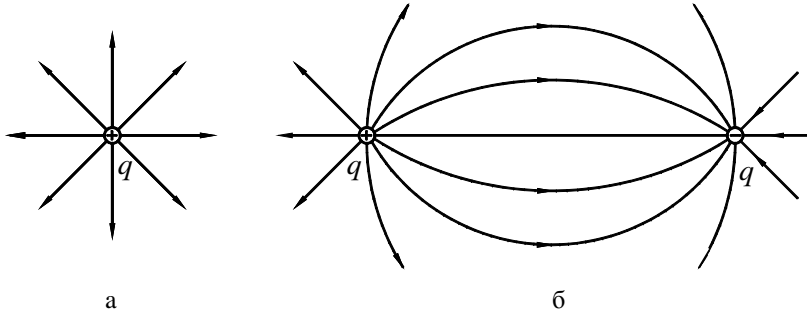


Рис. 3

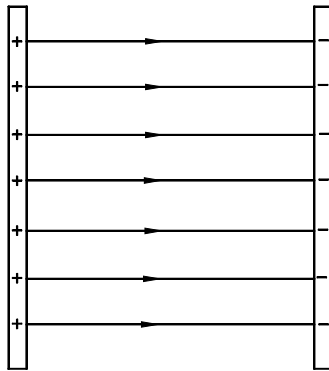


Рис. 4

### 1.2. Работа при движении заряда в электростатическом поле. Потенциал поля

На пробный заряд  $q_0$ , находящийся в электрическом поле  $\vec{E}$ , действует сила  $\vec{F} = q_0 \cdot \vec{E}$ . При перемещении заряда в поле эта сила совершает работу. На рис. 5 изображены линии поля, создаваемого точечным зарядом  $+q$ , и траектория перемещения пробного заряда  $q_0$ . Выделим бесконечно малый отрезок этой траектории  $d\vec{l}$ . При перемещении заряда  $q_0$  на отрезке  $d\vec{l}$  совершается элементарная работа

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} \cdot \cos(\vec{F}, d\vec{l}) = Eq_0 \cdot dr = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r^2} \cdot dr, \quad (9)$$

где  $d\vec{l} \cdot \cos(\vec{F}, d\vec{l}) = dr$ .

Для нахождения полной работы, совершаемой полем при перемещении пробного заряда  $q_0$  из положения 1 в положение 2, следует выражение (9) для элементарной работы проинтегрировать по всему пути:

$$\begin{aligned} A_{1,2} &= \int_1^2 dA = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{r_1}^{r_2} = \\ &= q_0 \left( \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r_1} - \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r_2} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

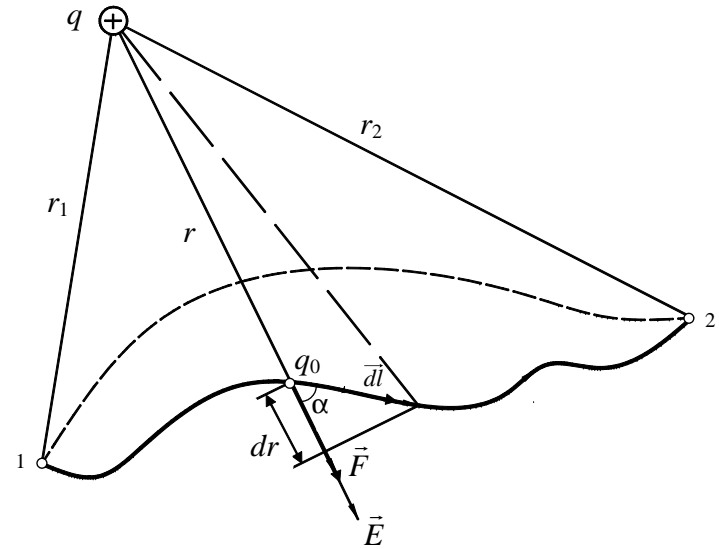


Рис. 5

Из (10) следует, что то же выражение для работы получится и при перемещении пробного заряда между указанными двумя точками и по любому другому пути, изображенному на рис. 5 пунктиром. Таким образом, *работа перемещения пробного заряда не зависит от*

формы пути перехода из начального положения в конечное и является функцией начального ( $r_1$ ) и конечного ( $r_2$ ) расстояний между зарядами  $q$  и  $q_0$ . Силовое поле, обладающее таким свойством, называется *потенциальным полем*.

Работа, совершаемая при перемещении заряда  $q_0$  из точки 1 поля в точку 2, является мерой изменения его потенциальной энергии этого заряд:

$$A = -\Delta W = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2, \quad (11)$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – значения потенциальной энергии заряда  $q_0$  в точках 1 и 2 поля. Известно, что потенциальная энергия – величина относительная, ее численное значение зависит от того, где выбрано начало отсчета. Условно за начало отсчета (т. е. за уровень, для которого потенциальная энергия равна нулю) принимают точки, находящиеся в бесконечности, т. е. там, где поле фактически отсутствует ( $W_\infty = 0$ ). Легко видеть, что при этом условии потенциальная энергия заряда, находящегося в некоторой точке поля, равна работе, совершаемой при переносе этого заряда из данной точки в бесконечность:

$$A_{1,\infty} = W_1 - W_\infty = W_1. \quad (12)$$

Сопоставляя формулы (10) и (12), получим

$$W_1 = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r_1}. \quad (13)$$

С учетом того, что точка 1 поля выбрана произвольно, индекс можно опустить и для любой точки поля:

$$W = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r}. \quad (14)$$

Потенциальная энергия заряда  $q_0$  в любой точке электростатического поля пропорциональна величин этого заряда. Вместе с тем величина, измеряемая отношением  $W/q_0$ , показывает, какой потенциальной энергией обладает единичный положительный заряд в данной точке поля:

$$\frac{W}{q_0} = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r}. \quad (15)$$

Отношение  $W/q_0$ , зависящее от положения пробного заряда, но уже не зависящее от численной величины последнего, характеризует свойства поля в данной его точке и называется *электрическим потенциалом  $\phi$*  или просто *потенциалом этой точки*

$$\phi = \frac{W}{q_0}, \quad (16)$$

т. е. *потенциал равен потенциальной энергии единичного пробного положительного заряда, помещенного в рассматриваемую точку электростатического поля*.

Из (12) следует, что

$$\phi = \frac{A_{1,\infty}}{q_0}, \quad (17)$$

т. е. *потенциал электростатического поля численно измеряется работой, совершаемой полем при перемещении единичного положительного пробного заряда по любому пути из данной точки поля в бесконечность*.

Потенциал  $\phi$  – величина скалярная. Его знак определяется знаком заряда, создающего поля. Для поля, созданного несколькими зарядами, потенциал в каждой точке находится как алгебраическая сумма потенциалов полей каждого из зарядов:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_n.$$

На основании формулы (16) и (17) определим единицу потенциала. За единицу потенциала в СИ принят 1В (вольт), т.е. потенциал такой точки поля, где заряд в 1 Кл обладает энергией в 1 Дж. Иначе, это потенциал такой точки поля, работа переноса из которой заряда в 1 Кл в бесконечность равна 1 Дж.

$$[\phi] = \frac{[A]}{[q_0]} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}.$$

Как следует из (15), *потенциал поля точечного заряда:*

$$\phi = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r}. \quad (18)$$

Работу, совершаемую электрическими силами при перемещении заряда  $q_0$  из одной точки поля в другую, можно, пользуясь формулами (10) и (18), выразить через разность потенциалов:

$$A_{1,2} = q_0 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (19)$$

*Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении точечного заряда, равна произведению этого заряда на разность потенциалов в начальной и конечной точках пути:*

$$A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

### 1.3. Эквипотенциальные поверхности

В любом электростатическом поле можно найти точки, потенциалы которых равны. Геометрическое место таких точек образует поверхность равного потенциала или эквипотенциальную поверхность (эквипотенциаль).

Для поля точечного заряда потенциалы всех точек, равноудаленных от заряда, одинаковы. Следовательно, эквипотенциальные поверхности будут концентрическими сферами, описанными вокруг источника поля на возрастающих расстояниях друг от друга, как это изображено на рис. 6 а.

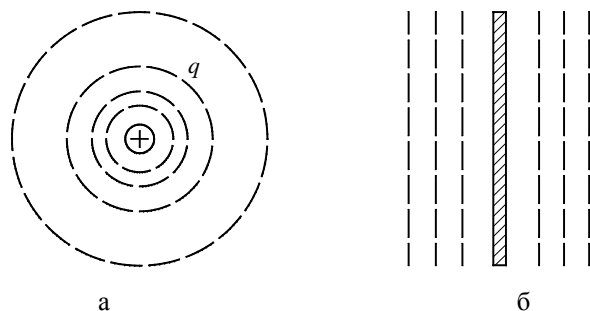


Рис. 6

Для однородного поля, созданного заряженной плоскостью, эквипотенциальные поверхности – параллельные ей плоскости (рис. 6, б).

Отметим, что первой из эквипотенциальных поверхностей поля всегда является поверхность самого тела, создающего поле.

*Силовые линии поля в любой точке ортогональны (перпендикулярны) к эквипотенциальным поверхностям.*

Проведем в произвольном поле поверхность равного потенциала  $\varphi = \text{const}$  и рассмотрим две ее бесконечно близкие точки 1 и 2 (рис. 7). Переместим из 1 в 2 вдоль поверхности пробный заряд  $q_0$ .

Тогда согласно (19)

$$A_{1,2} = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2) = q_0 (\varphi - \varphi) = 0, \quad (20)$$

т. е. работа перемещения пробного заряда вдоль поверхности равного потенциала равна нулю.

С другой стороны, выразим ту же работу через напряженность поля:

$$A_{1,2} = F \cdot dl \cdot \cos(\vec{F}, \vec{dl}) = q_0 \cdot E \cdot dl \cdot \cos(\vec{E}, \vec{dl}). \quad (21)$$

Сравнивая (20) и (21), видим, что, так как  $q_0$  и  $\vec{dl}$  произвольны и не равны нулю, то, следовательно,

$$\cos(\vec{E}, \vec{dl}) = 0. \quad (22)$$

– вектор напряженности поля  $\vec{E}$  перпендикулярен к поверхности равного потенциала в точке их пересечения.

Этим важным фактором пользуются при исследовании электростатического поля: опытно находят эквипотенциальные поверхности и нормально к этим поверхностям проводят силовые линии.

### 1.4. Связь между потенциалом и напряженностью

Проведем две бесконечно близкие эквипотенциальные поверхности (рис. 8):

$$\varphi = \text{const} \text{ и } \varphi + d\varphi = \text{const}.$$

Вектор  $\vec{E}$  направлен по нормали  $\vec{n}$  к поверхности  $\varphi$ . Отрезок 1–2 имеет длину  $dr$  и представляет кратчайшее расстояние от точки 1 до второй эквипотенциальной поверхности. При перемещении пробного заряда  $q_0$  из точки 1 в точку 2 будет совершена работа  $dA$ , равная

$$dA = F \cdot dr \cdot \cos(\vec{F}, \vec{n}) = q_0 \cdot E \cdot dr. \quad (23)$$

Выражая с помощью (19) ту же работу, получим

$$dA = q_0 [\varphi - (\varphi + d\varphi)] = -q_0 \cdot d\varphi. \quad (24)$$

Сравнивая (23) с (24), получим окончательно:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}. \quad (25)$$

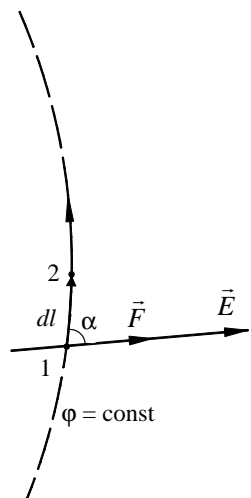


Рис. 7

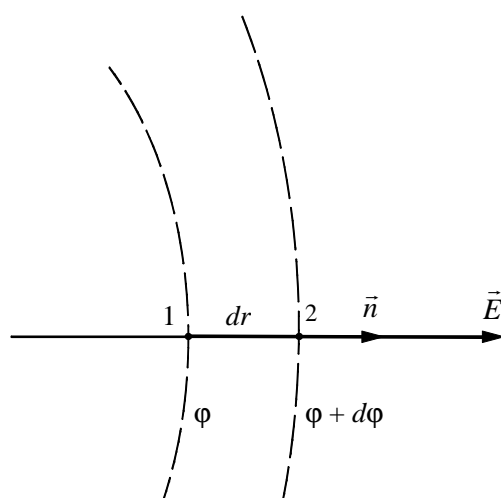


Рис. 8

Величина  $\frac{d\varphi}{dr}$ , характеризующая быстроту изменения потенциала в пространстве, носит название *градиента потенциала*. Знак минус в уравнении (25) указывает на то, что вектор  $\vec{E}$  напряженности поля направлен в сторону наиболее быстрого убывания потенциала. Из (25) следует, что *напряженность поля численно равна скорости изменения потенциала на единицу длины вдоль силовой линии*.

В векторном анализе *градиентом скалярной величины*  $\alpha$ , являющейся функцией координат, называется вектор  $\text{grad } \alpha$ , направленный в сторону наиболее быстрого возрастания этой величины и численно равный скорости ее изменения на единицу длины в этом

направлении. Из сказанного ясно, что напряженность и потенциал электростатического поля связаны следующим образом:

$$E = -\text{grad } \varphi, \quad (26)$$

т. е. *напряженность в какой-либо точке электростатического поля равна градиенту потенциала в этой точке, взятому с обратным знаком*.

Для однородного поля напряженность

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r}, \quad (27)$$

где  $r$  – расстояние между эквипотенциальными поверхностями  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , отсчитанное вдоль силовой линии поля. Из (25) следует, что напряженность электростатического поля измеряется в В/м.

Если электростатическое поле создается заряженным телом правильной геометрической формы, то напряженность такого поля в любой точке можно определить по теореме Остроградского–Гаусса.

Приведенные расчеты дают следующие выражения для напряженности и потенциала электростатического поля:

а) бесконечной плоскости, заряженной равномерно с поверхностной плотностью зарядов  $\sigma$ :

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0}, \quad \varphi = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot r; \quad (28)$$

б) бесконечно длинного прямого кругового цилиндра радиуса  $R$ , заряженного равномерно с поверхностной плотностью зарядов  $\sigma$ :

$$E = \frac{\sigma \cdot R}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r}, \quad \varphi = \frac{\sigma \cdot R}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln r; \quad (29)$$

в) бесконечно длинного прямого кругового цилиндра малого радиуса, заряженного равномерно с линейной плотностью зарядов  $\tau$ :

$$E = \frac{\tau}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r}, \quad \varphi = \frac{\tau}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln r, \quad (30)$$

где  $r$  – расстояние от заряженного тела до точки поля.

## 2. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из экспериментальных методов исследования электростатических полей является *метод моделирования* [1]. Известно, что электрическое поле стационарного тока в слабопроводящих средах является потенциальным. Поэтому его можно использовать для моделирования электростатического поля заряженных тел в вакууме. Тождественность таких потенциальных полей математически обоснована в [1; 2]. При таком методе металлические электроды помещают в слабопроводящую среду и располагают их на некотором расстоянии друг от друга. Электроды соединяют с источником постоянного тока. Между электродами возникает постоянный ток.

Как показывает теория и эксперимент, электрическое поле этого тока отличается от исследуемого поля в вакууме по величине напряженности, но совпадает с ним по конфигурации [2]. При таком моделировании силовым линиям электростатического поля будут соответствовать линии тока, а поверхностям равного потенциала – поверхности равных напряжений.

Напряжения различных точек модели могут быть измерены вольтметром. Для исследования распределения потенциала в стационарных электрических полях используются зонды, вводимые внутрь поля. Зондом является металлический стержень, хорошо изолированный по всей длине, кроме конца.

## 2.1. Описание установки

Установка для проведения исследования представляет собой плоскую ванну, в которую наливается вода (электролит). В ванну помещают электроды различной формы: точечные, плоские, цилиндрические (рис. 9). Электроды соединяют с источником постоянного тока. Таким образом, в электролите возникает поле, которое подлежит исследованию.

Для построения эквипотенциальных поверхностей необходимо определить потенциалы отдельных точек поля и координаты этих точек. Поэтому в схему включают вольтметр одной клеммой к электроду *A*, а другой – к зонду с тонким наконечником (как это показано на рис. 9). На дне ванны расположена координатная сетка, по которой находят координаты искомых точек.

При помещении зонда в электролит, например, в точку *C*, вольтметр покажет разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_C$ . Меняя положение зонда, можно найти еще ряд точек *D*, *E*, *F*, для которых вольтметр покажет такую же разность потенциалов:

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D = \varphi_A - \varphi_E = \varphi_A - \varphi_F \dots,$$

и при этом

$$\varphi_C = \varphi_D = \varphi_E = \varphi_F \dots,$$

т. е. точки *C*, *D*, *E* и *F* должны принадлежать одной эквипотенциальной поверхности. (При тонком слое электролита точки принадлежат эквипотенциальной линии). Определив координаты точек *X* и *Y*, можно перенести их на миллиметровую бумагу и построить эквипотенциальные линии.

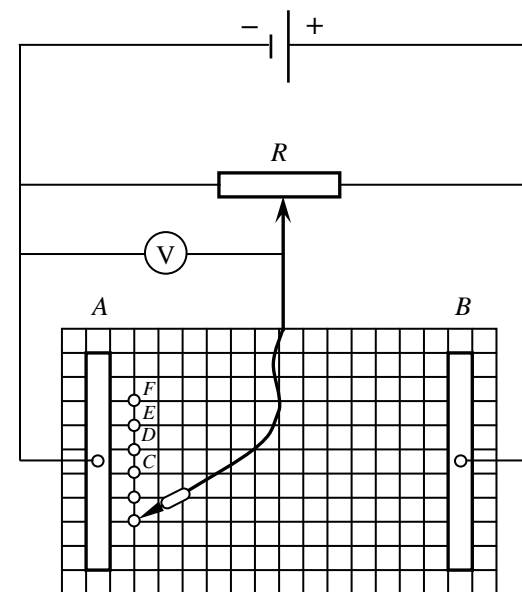


Рис. 9



## 2.2. Задания к лабораторной работе

Каждый студент выполняет один вариант задания, номер варианта задания указывает преподаватель.

Таблица заданий

№ задания	Электроды	Пункты задания
1	Два точечных	1, 2, 3а, 3д
2	Два цилиндрических	1, 2, 3б, 3г
3	Два плоских	1, 2, 3в, 3г
4	Два точечных	1, 2, 3а, 3г
5	Два цилиндрических	1, 2, 3в, 3д
6	Два плоских	1, 2, 3в, 3д
7	Точечный и плоский	1, 2, 4, 3д
8	Цилиндрический и плоский	1, 2, 4, 3д

### Расшифровка пунктов заданий

1. По данным измерений для каждой пары электродов построить графики эквипотенциальных линий. Указать потенциал каждой линии относительно электрода  $A$ .

2. Построить силовые линии, ортогональные (перпендикулярные) эквипотенциальным линиям.

3. Считая, что графики эквипотенциальных линий, построенных в пункте 1, получены для электростатического поля в вакууме ( $\epsilon = 1$ ), рассчитать:

- величину заряда на точечных электродах;
- линейную плотность зарядов на тонких цилиндрических электродах (электроды считать бесконечно длинными);
- поверхностную плотность зарядов на электродах;
- напряженность поля в точке с координатами  $X, Y$  (заданными преподавателем);
- энергию и скорость, которые приобретает электрон при перемещении из точки с координатами  $X_1, Y_1$  в точку с координатами  $X_2, Y_2$  (заданными преподавателем). Начальную скорость электрона принять равной нулю.

4. Исследовать картину эквипотенциальных линий при наличии в поле кольцевого проводника. Объяснить результаты.

При расчете считать, что работа поля по перемещению электрона между заданными точками идет на увеличение скорости, т. е. на изменение его кинетической энергии:

$$A = W_{k2} - W_{k1}.$$

Так как начальную скорость электрона (скорость в начальной точке перемещения) принято считать равной нулю, то работа перемещения будет равна кинетической энергии электрона в конечной точке перемещения:

$$A = W_{k2}.$$

Работу  $A$  перемещения электрона рассчитать по формуле (19), скорость – по формуле кинетической энергии  $\left( \frac{m \cdot v^2}{2} \right)$ .

## 2.3. Порядок выполнения работы

1. Установить ванну строго горизонтально и налить в нее воды так, чтобы дно покрывалось слоем 5–10 мм.

2. Опустить в ванну электроды, соответствующие заданию, и записать их координаты в таблицу отчета.

3. Собрать схему согласно рис. 9, т. е. подсоединить к соответствующим клеммам схемы стенда зонд и электроды.

4. После проверки схемы преподавателем, включить стенд тумблером  $K$ .

5. Вывести ручку потенциометра в крайнее правое положение, что в дальнейшем будет соответствовать напряжению на выходе потенциометра, а следовательно, разности потенциалов электродов 8 В. Потенциал электрода  $A$  положим равным нулю ( $\phi_A = 0$ ). Тогда потенциал электрода  $B$  будет равен  $\phi_B = 8$  В.

6. Поставить острие зонда строго вертикально около электрода  $A$  так, чтобы вольтметр показывал 1 В. Так как вольтметр  $V$  измеряет потенциал точки поля относительно электрода  $A$ , и при этом  $\phi_A = 0$ , то значение потенциала данной точки будет так же равно 1 В. Это значение потенциала и координаты точки занести в таблицу отчета.

7. Перемещая зонд около электрода  $A$ , найти 8–10 точек, имеющих такой же потенциал  $\varphi_1 = 1$  В, т. е. принадлежащих одной эквипотенциальной линии (поверхности), и занести их координаты в таблицу отсчета.

8. Переместив зонд правее электрода  $A$ , найти координаты 8–10 точек еще шести эквипотенциальных линий так, чтобы потенциалы соседних линий отличались на одну и ту же величину – 1 В.

9. На листе миллиметровой бумаге в масштабе 1:2 или 1:1 вычертить по координатам точек, занесенных в таблицу, эквипотенциальные линии исследуемого электростатического поля.

10. Ортогонально к эквипотенциальным линиям провести 4–6 силовых линий от одного электрода к другому. Указать их направление.

11. Произвести расчет указанных в задании величин.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется полем?
2. Что такое силовое поле?
3. Дайте понятие электростатического поля?
4. Какие линии называются силовыми?
5. Укажите основные свойства силовых линий электростатического поля.
6. Какое поле называется однородным?
7. Дайте определение напряженности  $\vec{E}$  и  $\varphi$ .
8. В чем заключается принцип суперпозиции электрических полей?
9. Какой заряд называется пробным?
10. От чего зависит напряженность поля точечного заряда?
11. Что называют линейной плотностью зарядов, поверхностной плотностью зарядов, объемной плотностью зарядов?
12. В чем заключается условие потенциальности электростатического поля?
13. Что называется вектором электрической индукции (электрического смещения)?
14. Как связаны между собой вектор электрической индукции и вектор напряженности?

15. Чему равна работа по перемещению точечного заряда в электростатическом поле?

16. Дайте определение эквипотенциальной поверхности.

17. Какова связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля?

18. Как направлен вектор напряженности электростатического поля?

19. Чему равна напряженность поля равномерно заряженной бесконечной плоскости?

20. Чему равна разность потенциалов точек поля равномерно заряженной бесконечной плоскости?

21. Чему равна напряженность поля равномерно заряженной бесконечной прямой линии?

22. Чему равна разность потенциалов точек поля равномерно заряженной бесконечной прямой линии (нити)?

23. Графическое изображение электростатических полей (привести примеры).

24. Чему равен потенциал и напряженность точек, расположенных внутри равномерно заряженной до потенциала  $\varphi$  проводящей оболочки?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рязанов, Г. А. Опыты и моделирование при изучении электростатического поля / Г. А. Рязанов. М.: Наука, 1966.
2. Калашников, С. Г. Электричество / С. Г. Калашников. М.: Наука, 1977.
3. Зисман, Г. А. Курс физики. Т. 2 / Г. А. Зисман, О. М. Тодес. М.: Наука, 1972.
4. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. М.: Высш. шк., 1977.