



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № ____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 28

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Цель работы: экспериментальное исследование электростатического поля в области между заряженными проводниками различной конфигурации и описание его при помощи эквипотенциальных поверхностей и силовых линий.

Теоретическое введение

Электростатическое поле создается заряженными телами, когда тела и заряды на них неподвижны. В каждой точке поле характеризуется вектором напряженности $\vec{E}$ и потенциалом φ .

Напряженность электрического поля в некоторой точке является физической величиной, равной силе, действующей на единицу положительного заряда, помещенного в эту точку.

Из определения напряженности поля следует, что

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}; \quad (1)$$

где q – положительный точечный заряд, а $\vec{F}$ – сила, с которой поле действует на этот заряд.

Таким образом, напряженность поля $\vec{E}$ есть силовая характеристика поля.

Потенциал данной точки поля есть скалярная физическая величина, определяемая работой по перемещению единичного положительного заряда при удалении его из данной точки поля в бесконечно удаленную, потенциал которой принимается равным нулю. Следовательно, потенциал является энергетической характеристикой поля.

$$\varphi = \frac{A}{q}; \quad (2)$$

Силовая (E) и энергетическая (φ) характеристики электростатического поля связаны друг с другом уравнением:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi; \quad (3)$$

которое показывает, что вектор $\vec{E}$ имеет направление наибыстрейшего уменьшения потенциала в данной точке, а по величине равен скорости уменьшения φ в этом направлении. Электростатическое поле можно изобразить графически. Для этого используются линии напряженности и эквипотенциальные поверхности.

Линией напряженности (силовой линией) называется линия, в каждой точке которой вектор $\vec{E}$ касателен к ней.

Эквипотенциальная поверхность – это поверхность одинакового потенциала. Силовые линии, согласно формуле (3), ортогональны к эквипотенциальным поверхностям. Например, в случае равномерно заряженной сферы (рис. 1а) эквипотенциальные поверхности будут сферами (концентрическими с заряженной сферой), а силовые линии направлены по радиусам этих сфер. В случае бесконечной равномерно заряженной плоскости (рис. 1б) эквипотенциальные поверхности – это плоскости, параллельные заряженной плоскости, а силовые линии перпендикулярны к этим плоскостям.

Исходя из ортогональности силовых линий к эквипотенциальным поверхностям, по силовым линиям поля можно найти поверхности равного потенциала и, наоборот, по положению поверхностей построить силовые линии. Последнее используется в данной работе.

Найти распределение потенциалов в поле легче, чем определять направление силовых линий, поэтому сначала обычно определяет положение и форму эквипотенциальных поверхностей.

Задачи настоящей лабораторной работы:

- а) определять положения эквипотенциальных поверхностей,
- б) построить силовые линии,
- в) вычислить напряженности электростатического поля.

Метод построения эквипотенциальных поверхностей рассмотрен в следующем разделе. Здесь мы остановимся на способе определения напряженности поля вдоль силовой линии.

Пусть известна зависимость потенциала от расстояния x вдоль силовой линии поля. Тогда на основе формулы (3), которая в этом случае имеет вид

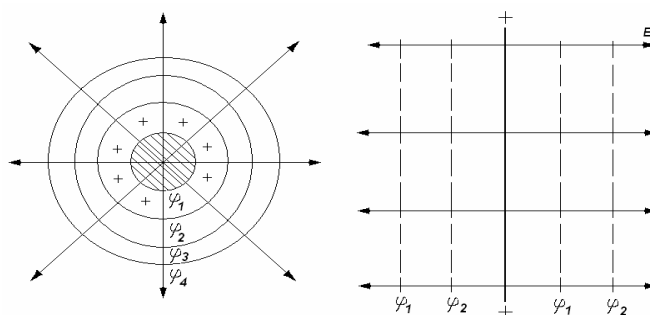
$$E = -\frac{d\varphi}{dx} \cong -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}; \quad (4)$$

Можно найти зависимость E от расстояния x . Действительно, зная график функции потенциала $\varphi(x)$, (рис. 2), нетрудно подчитать в каждой точке графика отношение $\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$, приблизительно равное напряженности поля в этой точке.

Приращения Δx следует брать достаточно малым, чтобы можно было считать, что

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x};$$

Таким образом, определив на графике потенциала $\varphi(x)$ отношение $\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ в нескольких точках кривой, можно построить график функции напряженности $E(x)$.



$$\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3 > \dots$$

$$\varphi_1 > \varphi_2$$

Рис. 1

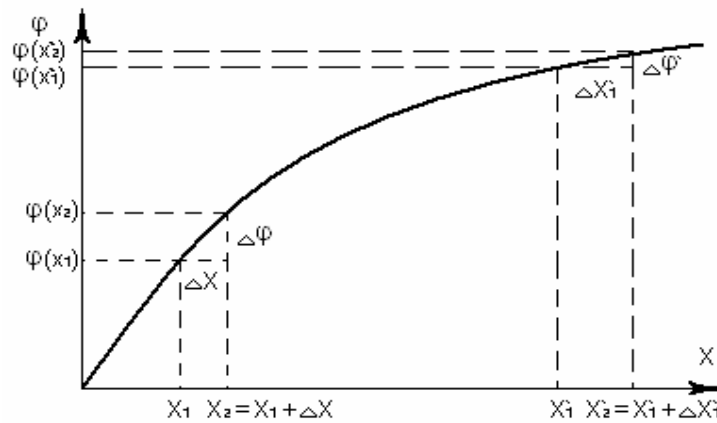


Рис. 2

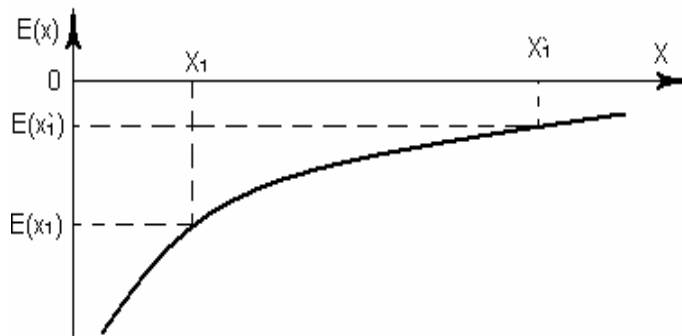


Рис. 3

На рис. 3 приведен график $E(x)$, найденный по заданному на рис. 2 графику функций $\varphi(x)$.

Метод моделирования

Для изучения распределения потенциалов в электростатическом поле применяют зонд, представляющий собой электрод, который вводят в исследуемую точку поля. Зонд соединяется с прибором, измеряющим разность потенциала зонда в данной точке и потенциала какой-нибудь другой выбранной точки поля. При этом необходимо, чтобы зонд как можно меньше нарушал своим присутствием исследуемое поле и принимал потенциал той точки, в которую он помещен. Последнее условие трудно выполнить в непроводящей среде. В этом случае не может происходить автоматическое выравнивание потенциала поля и введенного в нее зонда. Чтобы это выравнивание прошло, необходимо обеспечить стекание зарядов с зонда.

Поэтому изучение электростатического поля заменяют изучением поля постоянного во времени электрического тока.

Для осуществления такой замены поле зарядов, расположенных на электродах, должно совпадать по своей структуре с исследуемым электрическим полем. Метод изучения электростатического поля путем создания другого эквивалентного ему поля называется методом моделирования. Применение этого метода основано на том, что слабые токи в растворах электролитов можно рассчитать по закону Ома, который в дифференциальной форме записывается следующим образом:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E};$$

где E - напряженность поля в данной точке;

σ - удельная электропроводность;

j - плотность тока - вектор, направление которого совпадает с направлением E .

Поэтому поле тока характеризуется линиями плотности тока так же, как электростатическое поле характеризуется силовыми линиями и эти линии совпадают по направлению.

Однако поверхность проводника в поле тока не всегда является эквипотенциальной, и поэтому в таком поле силовые линии не всегда будут перпендикулярны к поверхности проводника.

Но, если удельная электропроводность среды, окружающей проводник во много раз меньше удельной электропроводности проводника, то падение напряжения вдоль проводника при прохождении по нему тока, можно считать равным нулю и поверхность проводника - эквипотенциальной. В этом случае граничные условия для поля в среде, окружающей электроды, совпадают с граничными условиями для электростатического поля в диэлектрике, окружающем заряженные проводники.

Поэтому, если форма поверхностей электродов будет такой же, как и форма заряженных тел, картина поля тока будет аналогичной картине исследуемого электростатического поля.

Также необходимо, чтобы потенциалы проводников, помещенных в поле поддерживались постоянными во время опыта. Замена изучения поля неподвижных зарядов изучением поля тока дает возможность применить в качестве зондов металлические электроды, так как в проводящей среде стекание заряда с острия и выравнивание его потенциала с потенциалом данной точки поля происходит автоматически.

Однако в случае постоянного тока возникает еще процесс электролитической поляризации, при которой вследствие электролиза раствора соли, окружающего проводники возникает электродвижущие силы, искажающие поле между электродами. Чтобы исключить влияние электролитической поляризации, применяют переменный ток небольшой частоты.

Кроме того, надо иметь в виду, что электрическая цепь зондов должна обладать значительно большим сопротивлением, чем сопротивление проводящих слоев электролита между точками, в которых стоят зонды. В противном случае включение зонда может исказить поле.

Описание установки

Построение эквипотенциальных поверхностей в полях различной конфигурации производится в данной работе с помощью установки для исследования межэлектродных статических полей (рис. 4). В прямоугольную электролитическую ванну A , заполненную слабым раствором электролита, помещаются металлические электроды $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$, поле которых изучается. На зажимы электродов подается переменное напряжение 2,5 В от силового трансформатора $T_{mp} - 1$.

В измерительную часть схемы входят: зонд Z , делитель напряжения R_1 , нулевой гальванометр Γ с добавочным сопротивлением R_2 и тумблером K_2 , вольтметр V . Диод VD_1 служит для выпрямления переменного тока.

Измерительная схема работает следующим образом: перемещением движка на делителе напряжения можно придавать различные значения потенциала этому движку относительно электродов, погруженных в ванну (в пределах полной разности потенциалов). Потенциал движка, относительно электрода $\mathcal{E}_1$ измеряется вольтметром. В какой-нибудь точке поля устанавливается зонд Z . Если зонд находится в такой точке поля, потенциал которой равен потенциалу движка делителя, то не будет тока в цепи зонда и, следовательно, гальванометра. Для фиксирования этой точки служит координатная сетка, нанесенная на дне электролитической ванны. Геометрическое место точек поля, для которых стрелка гальванометра займет нулевое положение при данном положении движка делителя, будет соответствовать одной из эквипотенциальных поверхностей исследуемого поля. На опыте получается естественно не поверхность, а ее горизонтальное сечение – линия.

Перемещая движок на делителе напряжения, придают движку различные значения потенциала и для каждого такого значения находят соответствующую эквипотенциальную линию (перемещая зонд в ванне).

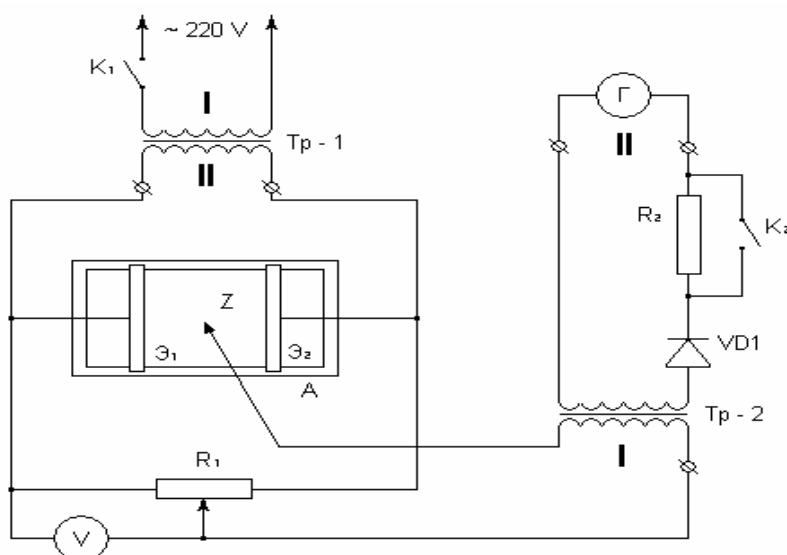


Рис. 4. Схема установки

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рис. 4 с двумя плоскими электродами. При этом переключатель K_2 должен стоять в положении "грубо".
2. Налить в ванну не более 0,5 л. воды из водопровода, которая является слабым электролитом.
3. Исследовать поле плоского конденсатора. Для этого:
 - а) установить электроды на расстоянии 10 см друг от друга, Положение электродов зафиксировать на миллиметровой бумаге;
 - б) включить питание установки;

- в) перемещением движка делителя установить заданный потенциал делителя равным 0,6 В;
 - г) перемещением зонда между электродами добиться минимального показания гальванометра, только после этого тумблер K_2 перевести в положение "точно" (гальванометр при этом приобретает большую чувствительность за счет отключения добавочного сопротивления), точнее найти положение точки, потенциал которой равен потенциалу движка;
 - д) перемещая зонд таким образом, чтобы гальванометр по-прежнему показывал минимум, найти и зафиксировать на листе бумаги не менее 10 точек, принадлежащих одной эквипотенциальной линии;
 - е) найденные точки соединить между собой и получить эквипотенциальную линию с потенциалом 0,6 В;
 - ж) аналогичным образом построить еще три эквипотенциальные линии при потенциалах движка 0,8 В; 1,0 В; 1,2 В.
 - з) по эквипотенциальным линиям ортогонально к последним построить силовые линии;
4. Вдоль одной из силовых линий определить графическую зависимость потенциала φ от расстояния x между электродом $\mathcal{E}_1$ и зондом. Для этого потенциал движка последовательно установить равным 0,6 В; 0,8 В; 1,0 В; 1,2 В и для каждого такого значения найти положение эквипотенциальной точки вдоль линии напряженности. Построить график зависимости $\varphi(x)$.
5. По графику зависимости $\varphi(x)$ построить зависимость напряженности E от расстояния x .
6. Аналогично тому, как это делалось для плоского конденсатора, построить линии напряженности для цилиндрического конденсатора при потенциалах 0,6 В; 0,8 В; 1,0 В; 1,2 В. Строятся также графики зависимостей $\varphi(x)$ и $E(x)$.
7. После работы выключить питание, переключатель K_2 поставить в положение "грубо", разобрать схему, зонд поставить в гнездо. Вылить из ванны воду.

Контрольные вопросы

1. Какие поля называются электростатическими?
2. Дайте определение напряженности и потенциала электростатического поля.
3. Докажите, что силовые линии ортогональны к эквипотенциальным поверхностям.
4. Объясните сущность метода моделирования.
5. По схеме (рис. 4) объясните принцип построения эквипотенциальных поверхностей.
6. На основе теоремы Гаусса-Остроградского докажите, что вне цилиндрического конденсатора поле равно нулю.

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1978, т.2., § 5, 6, 8, 13, 34.
2. Калашников С.Г. Электричество. - М.: Наука, 1985, § 8, 9, 12, 13, 16, 17, 19, 23, 61, 62.