

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ.

Цель работы: экспериментальное изучение характеристик различных электростатических полей.

Требуемое оборудование

1. Модульный учебный комплекс МУК-ЭМ1;
2. Электролитическая ванна;
3. Набор проводящих тел различной конфигурации

Приборы:

- | | |
|-----------------------------------|-------|
| 1. Блок амперметра-вольтметра АВ1 | 1 шт. |
| 2. Генератор напряжений ГН1 | 1 шт. |
| 3. Электролитическая ванна ЭВ01 | 1 шт. |
| 4. Проводники Ш4/Ш1,6 | 4 шт. |

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Современная физическая наука считает, что любые силовые взаимодействия между разными телами могут передаваться только при наличии какой-либо среды, окружающей эти тела и с конечной скоростью. Эта теория получила название теории близкодействия. В разработке этой теории участвовал Фарадей, а затем Максвелл. По этой теории даже при наличии одного заряда в окружающем пространстве происходят определенные изменения. Физическим агентом, осуществляющим силовое взаимодействие между телами, имеющими электрический заряд, является электрическое поле.

Электрическим полем называется один из видов материи, основным свойством которого является взаимодействие с электрическими зарядами.

Электрическое поле описывается двумя характеристиками: силовой и энергетической.

Силовая характеристика определяется величиной, получившей название **напряженности** электрического поля.

Энергетическая характеристика определяется величиной, называемой **потенциалом**. Определения этих величин можно сформулировать так.

Физическая величина, измеряемая силой, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку электрического поля, называется напряженностью электрического поля в данной точке.

Потенциалом электрического поля в данной точке называется физическая величина, измеряемая работой, которая совершается при перемещении единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность.

Рассмотрим эти величины подробнее.

1. Напряженность электрического поля. Из определения напряженности поля имеем

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

Здесь E - напряженность поля в точке, где помещен положительный пробный заряд q , на который поле действует с силой F . Поскольку сила есть величина векторная, а заряд скалярная, то напряженность поля есть вектор и формула (1) может быть записана так:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (2)$$

Если в формулу (1) подставить значение силы из закона Кулона

$$F = \frac{q \cdot Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad (3)$$

то получим выражение для **напряженности электрического поля точечного заряда** :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad \text{или} \quad (4)$$

$$\vec{E} = \frac{Q\vec{r}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \quad (5)$$

Здесь Q - заряд, образующий электрическое поле, а r - расстояние от этого заряда до пробного заряда q , т.е. до точки электрического поля, где производится наблюдение.

Направление вектора напряженности электрического поля \vec{E} в соответствии с формулой (2) совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, помещенный в данную точку поля. Поэтому, если поле создано точечным положительным зарядом, вектор напряженности поля направлен по радиусам-векторам от заряда во внешнее пространство. Если поле образовано точечным отрицательным зарядом, то вектор напряженности направлен из внешнего пространства к заряду, как это показано на рис. 1.

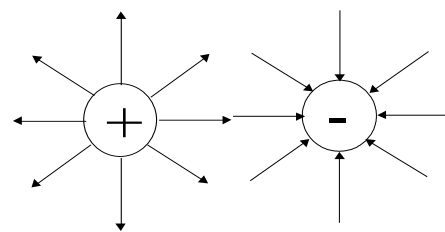


Рис. 1

Если напряженность поля в данной точке пространства создается несколькими точечными зарядами Q_1, Q_2, Q_3, \dots ,

то результирующая величина напряженности определяется как геометрическая сумма напряженностей, создаваемых отдельными зарядами.

Для описания электрического поля необходимо задать вектор напряженности \vec{E} в каждой точке поля. Это можно сделать аналитически, выражая зависимость напряженности поля от координат в виде формул. Однако, эту же зависимость можно представить и графически. Для этого пользуются понятием **линий напряженности** или иначе **силовых линий**.

Силовой линией, или линией вектора напряженности электрического поля, называют плавную кривую, проведенную в электрическом поле так, чтобы направление касательной в каждой точке этой линии совпадало с направлением вектора напряженности электрического поля в этой точке (рис.2). Силовым линиям приписывают определенное направление, отмечая его на чертеже стрелкой. **Принято считать, что силовые линии выходят из положительных зарядов, а входят в отрицательные заряды.**

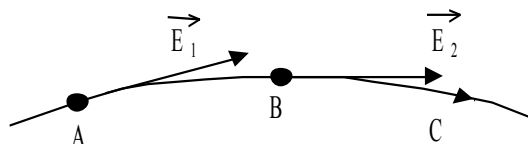


Рис. 2

Чтобы при помощи силовых линий можно было изображать не только направление, но и величину напряженности поля, условились на графиках проводить силовые линии так, чтобы **число силовых линий, проходящих через единицу площади поверхности, перпендикулярной к силовым линиям, было пропорционально величине напряженности поля в данном месте.** Так как проведение силовых линий в пространстве произвольно, то силовую линию можно провести через любую точку поля. Однако при этом следует иметь в виду, что силовые линии никогда не пересекаются между собой. Это происходит потому, что в каждой точке поля может быть только одно единственное значение напряженности электрического поля, которому соответствует единственное направление касательной к силовой линии.

2. Потенциал. В том случае, когда сила взаимодействия между телами в разных точках пространства не остается постоянной, величина работы на бесконечно малом участке пути ds определяется из выражения:

$$dA = F \cdot ds \cdot \cos\alpha \quad (6)$$

Здесь F - значение силы на участке ds , **принимаемое вследствие малости ds постоянной**, а $\angle\alpha$ - угол между направлением силы F и направлением перемещения ds . В случае электрических полей сила определяется из закона Кулона формулой (3), а выражение $ds \cdot \cos\alpha$ из геометрических соображений оказывается равным dr - изменению радиуса- вектора между зарядами Q и q . Поэтому

$$dA = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r^2} dr \quad (7)$$

Интегрируя это выражение в пределах от r_1 до r_2 , где r_1 - радиус- вектор в начале перемещения пробного заряда q , а r_2 - в конце, находим:

$$A = q \cdot \left\{ \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_1} - \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_2} \right\} \quad (8)$$

Таким образом, работа при перемещении пробного заряда q в поле точечного заряда Q выражается произведением величины пробного заряда на разность значений функции $\frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r}$ в начальной и конечной точках перемещения. Эта функция

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r} \quad (9)$$

зависящая от величины заряда, образующего поле и от расстояния от этого заряда до точки наблюдения, получили название **потенциала**. Таким образом, выражение в скобках в формуле (8) есть разность потенциалов электрического поля в начальной и конечной точках перемещения пробного заряда. Сопоставляя формулы (8) и (9) находим:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (10)$$

и разность потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}, \quad (11)$$

а если взять одну из точек в бесконечности, например $r_2 = \infty$, то в соответствии с формулой (9) значение $\varphi_2 = 0$ и тогда

$$\varphi = \frac{A}{q}. \quad (12)$$

Из этой формулы и вытекает определение потенциала, которое было приведено ранее.

Потенциал является величиной скалярной, поэтому если поле образуется многими зарядами, то результирующее значение потенциала в данной точке поля определяется как алгебраическая сумма потенциалов от каждого заряда. При этом положительным зарядам приписывается положительный потенциал, а отрицательным зарядам - отрицательный.

Установим теперь связь между напряженностью и потенциалом. Для этого рассмотрим **однородное электрическое** поле, для каждой точки которого значение напряженности одинаково и по величине и по направлению. Таким полем является поле между двумя параллельными пластинами. Пусть расстояние между пластинами есть r , потенциал первой пластины есть φ_1 , а второй φ_2 и напряженность поля E . В этом случае работу по перемещению пробного заряда q от одной пластины к другой можно определить двумя формулами:

$$A = Fr = qEr \quad \text{и} \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Из сопоставления этих формул находим:

$$qEr = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad \text{и} \quad E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r} = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{r} \quad (13)$$

В случае неоднородного поля, когда $E \neq \text{const}$ необходимо переходить к бесконечно малым расстояниям, для которых $\varphi_2 - \varphi_1 = d\varphi$ поэтому

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (14)$$

Знак «-» возникает потому, что дифференциал определяется в результате вычитания начального значения функции из конечного значения. Для нашего случая это показывает, что напряженность поля имеет положительное направление в сторону убывания потенциала.

Из формулы (10) за единицу разности потенциалов принимается разность потенциалов между такими двумя точками электрического поля, для которых при перемещении пробного положительного заряда в 1 Кулон от одной точки к другой, затрачивается работа в 1 Джоуль. Эта единица называется вольт.

$$1B = \frac{1Дж}{1Кл}$$

Единица напряженности электрического поля определяется из формулы (13) как 1 В/м. Эта единица специального названия не имеет.

Из формулы (9) потенциал поля, образованный зарядом Q, определяется расстоянием от этого заряда до точки наблюдения. Однако, можно выделить совокупность таких точек поля, для которых потенциал будет одинаковым.

Геометрическое место точек равного потенциала называется эквипотенциальной поверхностью.

Силовые линии всегда перпендикулярны к поверхности равного потенциала. В самом деле, подставим значение силы из формулы (1) в формулу (6), тогда

$$dA = qEd\cos\alpha \quad (15)$$

С другой стороны, из формулы (10) при движении заряда q по эквипотенциальной поверхности $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ и работа $A = 0$. Но в формуле (15) dA может равняться нулю только в случае, если $\cos\alpha = 0$. А это означает, что $\alpha = 90^\circ$. Но угол α и есть угол между направлением силы (qE) и направлением перемещения, т.е. между силовой линией и эквипотенциальной поверхностью.

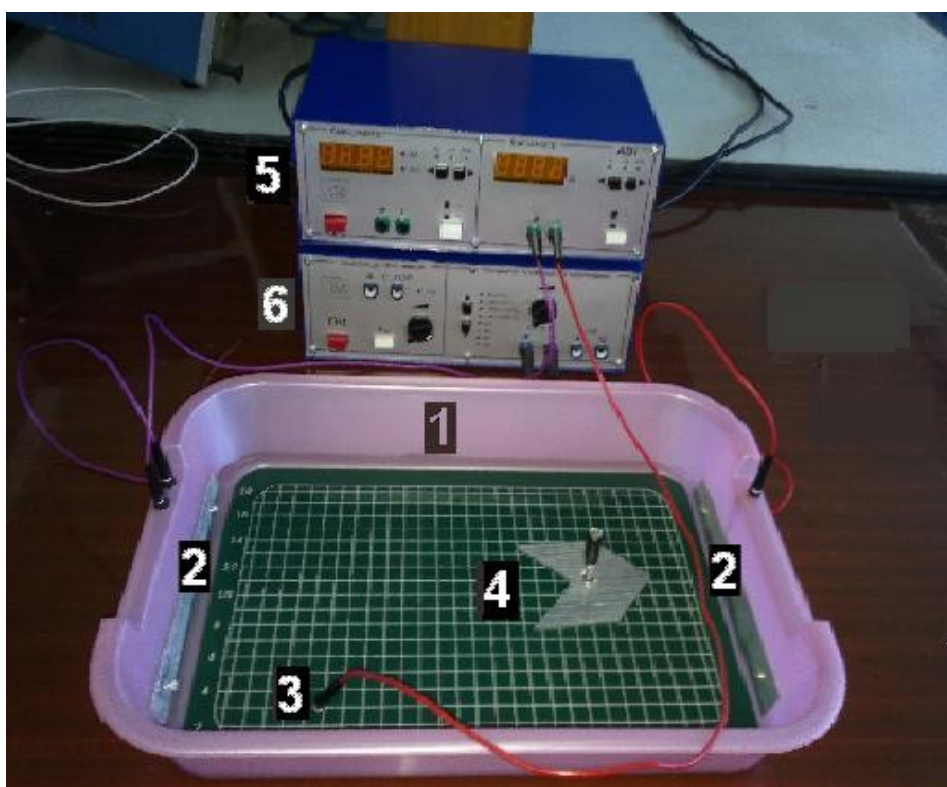


Рис.3. Общий вид лабораторного стенда.

1- электролитическая ванна; 2 – электроды; 3 – зонд;
4 – проводящий элемент; 5 – вольтметр; 6 – источник переменного тока;

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Эквипотенциальные поверхности, а значит и силовые линии электрического поля между электродами различных типов можно непосредственно изучать с помощью зондового метода.

Идея метода показана на рис. 3. и 4. В плоскую ванну (1) наливают жидкость с большим удельным сопротивлением (в нашем случае водопроводная вода). В ванне устанавливаются электроды (2), и на них подается напряжение от источника переменного тока (6), которое создает электрическое поле в ванне. Для изучения этого поля в ванну вводится дополнительный электрод, получивший название зонда (3). Он может свободно перемещаться по всей площади ванны. С его помощью измеряется величина потенциала в любой точке электролитической ванны. Показания снимаются с цифрового вольтметра (5).

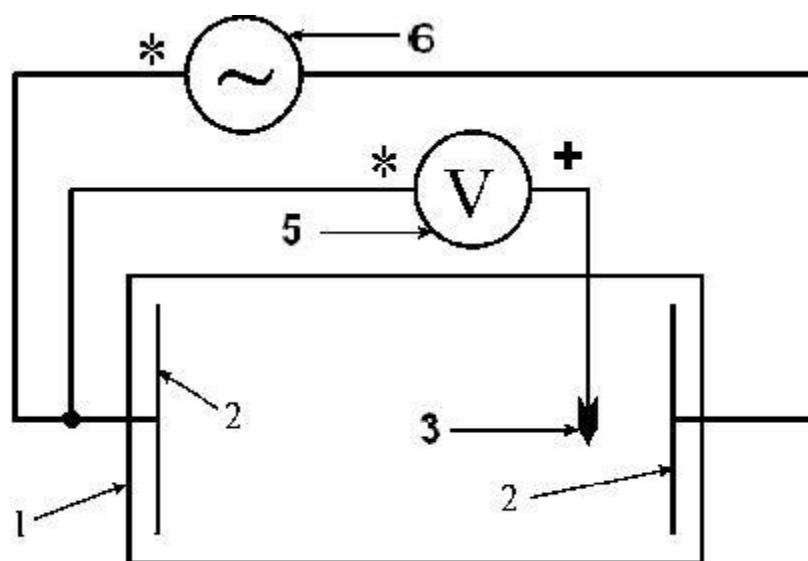


Рис. 4. Принципиальная схема установки.
1 – электролитическая ванна; 2 – электроды; 3 – зонд;
5 – вольтметр; 6 – источник переменного тока.

На дне электролитической ванны имеется координатная сетка, позволяющая воспроизвести картину поля в определенном масштабе на чертеже.

Зонд 3 устанавливается в произвольную точку ванны вертикально на одну из линий сетки, его координаты отмечаются на чертеже. Потенциал зонда относительно электрода 2 в этой точке определяют с помощью вольтметра. Зонд 3 перемещается между электродами до тех пор, пока не будут найдены несколько (~10) других точек с таким же потенциалом. Координата зонда 5 для каждой из этих точек отмечается на чертеже. Геометрическое место точек, потенциал которых одинаков, дает одну эквипотенциальную поверхность. Потенциал данной эквипотенциальной поверхности, как отмечалось, измеряется относительно электрода 2. Построив несколько эквипотенциальных поверхностей с некоторой одинаковой разностью потенциалов между ними, получим картину поля между электродами. Разность потенциалов между двумя эквипотенциальными поверхностями и известное расстояние между ними позволяют, как показано выше, оценить величину напряженности электрического поля в любой точке между электродами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется напряженность электрического поля?
2. В каких единицах измеряется напряженность электрического поля?
3. В каких единицах измеряется разность потенциалов в системе СИ?
4. Как проводятся силовые линии?
5. В чем заключается отличие однородного и неоднородного электрического поля?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. -М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Калашников Э.Г. Электричество. – М.:Наука, 1977.
5. Трапицын Н.Ф. Краткий курс общей физики. Ч.3. Электричество и магнетизм. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 1996
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1974.
7. Физический практикум. Ч.2./ Под ред. В.И. Ивероновой. -М.: «Наука