

Цель работы: Исследование характеристик электростатического поля.

Приборы и принадлежности: ванна с пантографом, гальванометр.

Описание лабораторной установки

Установка представляет собой прямоугольную ванну **В** с электролитом, в которую погружены два электрода 1 и 2 (см. рис. 1 и 2). Электроды присоединены к источнику постоянного напряжения. Параллельно электроду 2 и зонду 3 подключен вольтметр. Потенциометр сопротивлением R соединен через гальванометр Γ с зондом 3, установленном на одном из концов пантографа **П**. Если подать на электроды постоянное напряжение, то между ними возникнет электрическое поле и вольтметр покажет разность потенциалов между электродом 2 и точкой, расположенной в ванне, в которую помещен зонд **3**. Характеристики и параметры этого поля предстоит исследовать в данной работе.

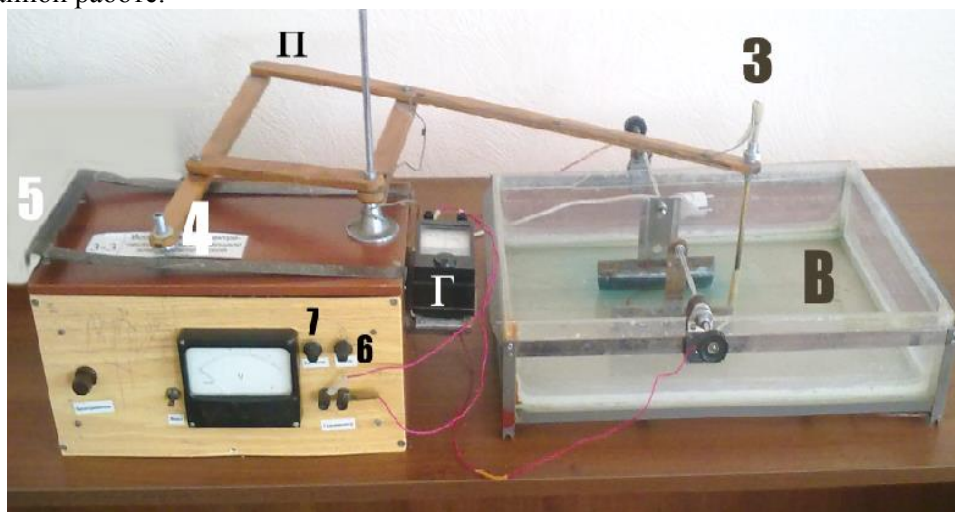


Рис. 1. Вид лабораторной установки

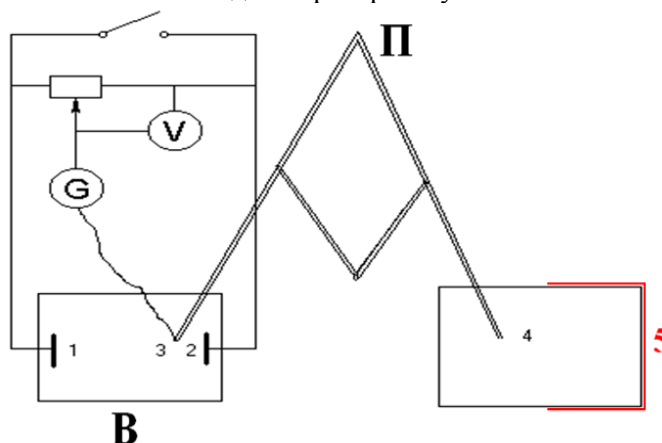


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Упражнение № 1. Исследование электростатического поля между двумя заряженными прямолинейными электродами.

1. Закрепите под зажимом **5** на установке **4** лист бумаги. Вставьте в фиксирующий конец **4** пантографа стержень от шариковой ручки. Подводя зонд **3** пантографа к металлическим электродам ванны **1** и **2** зарисуйте их положение на листе бумаги.
2. Установите зонд **3** посередине отрезка, соединяющего центры электродов. Отметьте на бумаге положение этой точки.
3. Установите регулятор «чувствительность» **6** в среднее положение. С помощью «регулятора напряжения» **7** установите стрелку гальванометра Γ на ноль, после чего запишите показания вольтметра. В этом случае показания вольтметра будут равны потенциалу точки в электролитической ванне, в которой находится зонд **3**. Запишите потенциал φ этой точки на листе бумаги.
4. Найдите следующую точку с таким же потенциалом. Для этого, плавно передвигая зонд **3** между электродами **1** и **2**, найдите точку, в которой стрелка на гальванометре будет снова показывать ноль.

Отметьте эту точку на листе бумаги. Таким же образом, найдите ещё 7 - 10 точек.

5. Соедините эти точки, отмеченные ручкой на листе бумаги, плавной линией. Отметьте на этой линии потенциал полученных точек (показания вольтметра). Таким образом, Вы нарисуете первую эквипотенциальную линию.

6. Для построения второй эквипотенциальной линии установите зонд в такое положение, при котором он будет находиться посередине минимального отрезка, соединяющего точку поверхности электрода 1 и точку полученной ранее эквипотенциальной линии.

Следуя пунктам 3–5, нарисуйте на бумаге вторую эквипотенциальную линию. Отметьте на ней её потенциал.

7. Для построения третьей эквипотенциальной линии установите зонд в такое положение, при котором он будет находиться посередине минимального отрезка, соединяющего точку поверхности электрода 2 и точку эквипотенциальной линии, проходящей посередине между электродами 1 и 2. Следуя пунктам 3–5, нарисуйте на бумаге третью эквипотенциальную линию. Отметьте на ней её потенциал.

8. Таким образом, будет изображено 3 эквипотенциальных линии.

9. Пользуясь свойством взаимного расположения силовых и эквипотенциальных линий, постройте на этом же рисунке силовые линии исследуемого электрического поля. Укажите направление этих силовых линий.

10. Пользуясь свойствами силовых линий, определите полярность электродов и обозначьте их на рисунке.

Контрольные вопросы

1. Электрическое поле, его основные физические свойства. Электростатическое поле.
2. Виды электрических зарядов и их взаимодействие. Закон Кулона.
3. Закон сохранения электрического заряда.
4. Основные параметры электростатического поля: напряженность и потенциал, связь между ними.
5. Графическое изображение электрических полей: силовые и эквипотенциальные линии, их свойства и взаимное расположение. Однородное электростатическое поле.
6. Принцип суперпозиции для электростатического поля. Напряженность и потенциал точечного заряда.
7. Работа сил электрического поля по перемещению точечного заряда. Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух точечных зарядов, системы точечных зарядов.

Основные теоретические сведения

Электростатикой называется раздел физики, изучающий взаимодействие неподвижных зарядов и характеристики их электрических полей.

Наблюдения показывают, что в природе существует два вида зарядов: **положительные и отрицательные**.

Электрический заряд обозначается буквой q и измеряется в кулонах (Кл).

Было обнаружено, что минимальный заряд в природе неразрывно связан с очень маленькой частицей, которая была названа **электроном**. Заряд электрона оказался равным $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и *условно* считается **отрицательным**.

Электрический заряд любого тела дискретен, то есть составляет целое кратное от элементарного электрического заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, то есть $q = N \cdot e$.

Действие одного электрически заряженного тела на другое осуществляется посредством **электрического поля**.

Электрическим полем называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека.

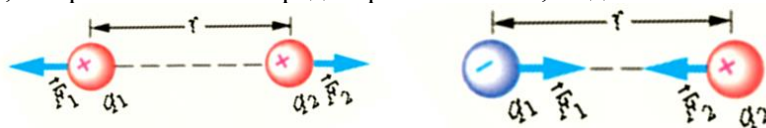
Основное свойство электрического поля – это **силовое воздействие на электрические заряды**.

Электростатическим называется электрическое поле, характеристики которого не изменяются с течением времени.

(такое поле создаётся неподвижными электрическими зарядами).

Точечным называется заряд, размером и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Наблюдения показывают, что разноимённые заряды притягиваются, а одноимённые заряды отталкиваются.



Силу электростатического взаимодействия между двумя точечными зарядами можно определить по **закону Кулона**:

Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, и направлена по прямой, соединяющей заряды.

$$F_{\text{кул}} = k \frac{|q_1| |q_2|}{\epsilon r^2}$$

где $F_{\text{кул}}$ - сила взаимодействия заряда с полем,

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}; \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$
 - электрическая постоянная,

$$\epsilon = \frac{F_{\text{в.вакууме}}}{F_{\text{в.веществе}}} = \frac{E_{\text{в.вакууме}}}{E_{\text{в.веществе}}}$$
 - диэлектрическая проницаемость среды.

(физический смысл ϵ : она показывает, во сколько раз вещество ослабляет внешнее электрическое поле по сравнению с вакуумом).

ϵ - величина безразмерная. Для вакуума и воздуха $\epsilon = 1$

q_1 и q_2 - величины точечных зарядов, [Кл] - Кулон, r - расстояние между зарядами, [м]

Сила Кулона направлена вдоль прямой, проходящей через центры взаимодействующих электрических зарядов (см. рис).

Электрически изолированной называется система, которая не обменивается с внешними телами электрическим зарядом.

Для такой системы справедлив **закон сохранения электрического заряда**:

Алгебраическая сумма электрических зарядов электрически изолированной системы не изменяется при любых

процессах, происходящих в этой системе, то есть $\sum q_i = \text{const}$ или $\left(\sum q_i \right)_{\text{начальное}} = \left(\sum q_i \right)_{\text{конечное}}$.

Основные характеристики электростатического поля

Основной характеристикой электрического поля является **напряжённость электрического поля**.

Напряжённость электрического поля – это физическая величина, равная силе, действующей на положительный единичный точечный заряд, помещённый в данную точку поля

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

$$[E] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right] \equiv \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right], \quad \text{Ньютон на кулон} \quad \text{или} \quad \text{Вольт на метр.}$$

(пример: $E = 10 \frac{H}{Кл}$ означает, что на точечный заряд в 1 Кл в данной точке поля действует сила равная 10 Н).

Из определения напряженности следует, что сила, действующая со стороны электрического поля на точечный заряд, равна:

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Графическое изображение электростатических полей

Электростатические поля можно изображать:

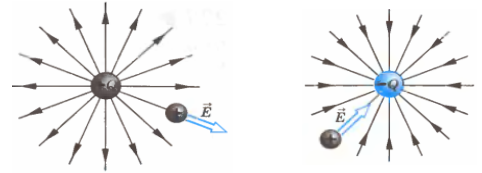
1. с помощью **силовых линий**,
2. с помощью **эквипотенциалей**.

Силовой линией электрического поля называется линия, касательная в каждой точке которой совпадает по направлению с вектором \vec{E} в данной точке поля.

(за направление вектора \vec{E} приняли направление, совпадающее с вектором силы \vec{F} , действующей на положительный точечный заряд в данной точке поля.)



Силовые линии могут иметь вид прямых или кривых произвольной формы. Через каждую точку пространства проходит только одна силовая линия. Условно принято, что силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных зарядах, то есть силовые линии электростатического поля незамкнуты.



На рис. 1 представлены силовые линии уединённых положительного и отрицательного точечных зарядов, а так же поле электрического диполя и поле внутри плоского конденсатора.

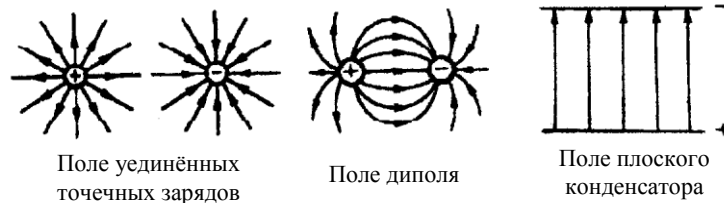


рис. 1

Эквипотенциалью называется геометрическое место точек одинакового потенциала.

На рис. 2 представлены эквипотенциальные линии уединённых положительного и отрицательного точечных зарядов, а так же электрического диполя и поля внутри плоского конденсатора.

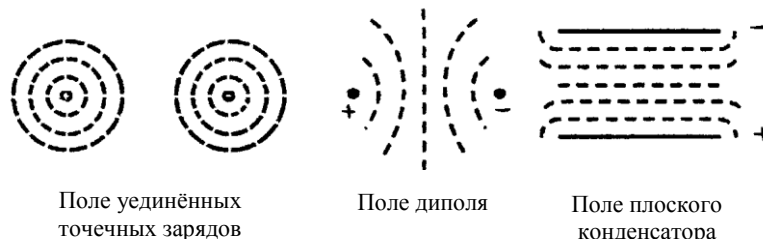


рис. 2

Силовые линии всегда перпендикулярны в каждой точке поля к эквипотенциалам (см. рис.3 и 4).

Эквипотенциали обычно проводят так, чтобы разность потенциалов между соседними поверхностями была одинаковой. Тогда по густоте эквипотенциальных поверхностей можно наглядно судить о значении напряженности поля в разных точках. Там, где эти поверхности расположены гуще, там напряженность поля больше. В качестве примера на рис. 3 приведено двумерное изображение электростатического поля.

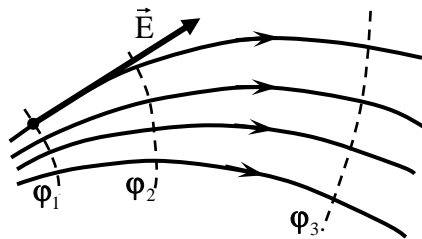


Рис. 3

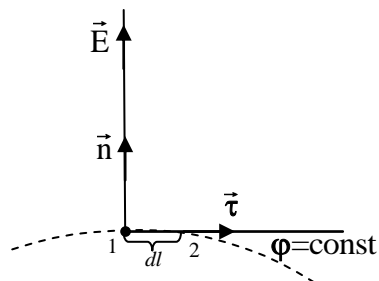
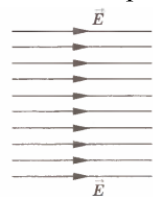


Рис. 4

Принято, что:

1. силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных,
2. силовые линии нигде не пересекаются.
3. силовые линии всегда перпендикулярны к эквипотенциалам.
4. вектор напряженности электрического поля направлен в сторону уменьшения потенциала.



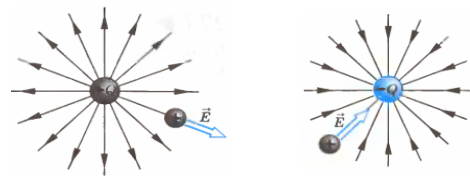
Однородным называется электростатическое поле, в каждой точке которого вектор напряжённости \vec{E} имеет одну и ту же величину и направление.

Графически однородное поле изображается параллельными силовыми линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

Напряжённость и потенциал точечного заряда

Исходя из закона Кулона (1) и определения (2), можно легко рассчитать напряжённость электрического поля, создаваемого одиночным точечным зарядом в вакууме:

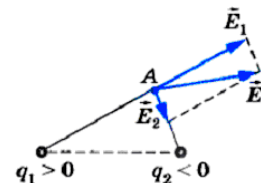
$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}.$$



Результирующее значение напряженности поля, создаваемого *одновременно* несколькими электрическими зарядами в одной и той же точке пространства, определяется по **принципу суперпозиции**:

результатирующая напряженность электрического поля равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из имеющихся зарядов:

$$\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i.$$



Второй характеристикой электростатического поля является *потенциал*.

Потенциалом электростатического поля называется величина, равная потенциальной энергии положительного единичного точечного заряда, помещенного в данную точку поля:

$$\varphi = \frac{\Pi}{q}, \quad (3)$$

$$[\varphi] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = [B], \text{ Вольт}$$

где φ - потенциал, Π - потенциальная энергия взаимодействия электрического заряда с полем, q - величина этого заряда, Кл.

(пример, $\varphi = 10$ В означает, что точечный заряд в 1 Кл в данной точке электрического поля имеет потенциальную энергию, равную 1 Дж).

Из уравнения (3) следует, что потенциальную энергию точечного заряда в данной точке поля можно определить по формуле:

$$\Pi = q\varphi.$$

- Потенциал поля точечного заряда в вакууме можно рассчитать по формуле: $\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$

Результирующее значение потенциала, создаваемого *одновременно* несколькими электрическими зарядами в одной и той же точке пространства определяется по **принципу суперпозиции**:

результатирующий потенциал электрического поля равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым из имеющихся зарядов:

$$\varphi_{\text{рез}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum \varphi_i.$$

- Потенциальную энергию электростатического взаимодействия системы двух точечных зарядов находят по формуле:

$$\Pi = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r}$$

- Потенциальную энергию электростатического взаимодействия системы точечных зарядов можно определить по формуле:

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

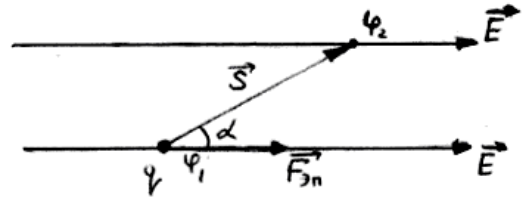
где φ_i - потенциал, создаваемый в точке, где находится заряд q_i всеми зарядами системы, кроме i -го (определяется по принципу суперпозиции).

Работа сил электростатического поля по перемещению точечного заряда.

$$A_{\text{ЭП}} = q(\varphi_{\text{начальный}} - \varphi_{\text{конечный}}),$$

$$A_{\text{ЭП}} = -(\Pi_{\text{начальная}} - \Pi_{\text{конечная}}),$$

$$A_{\text{ЭП}} = F_{\text{ЭП}} S \cos \alpha,$$



где $\varphi_{\text{начальный}}$ и $\varphi_{\text{конечный}}$ - потенциал электрического поля в начальной и конечной точках траектории, [В],

$\Pi_{\text{начальная}}$ и $\Pi_{\text{конечная}}$ - потенциальная энергия заряда в начальной и конечной точках траектории, [Дж],

\vec{S} - вектор перемещения точечного заряда, м; \vec{E} - вектор напряжённости электрического поля, $\frac{В}{м}$

$\cos \alpha$ - угол между векторами \vec{E} и \vec{S} .