Лабораторная работа № 3-3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЫ

Студент_____группа_____

Допуск_____Выполнение_____Защита_____

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 **Г** 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 Вам предстоит исследовать в данной работе.

Рис. 1. Вид лабораторной установки

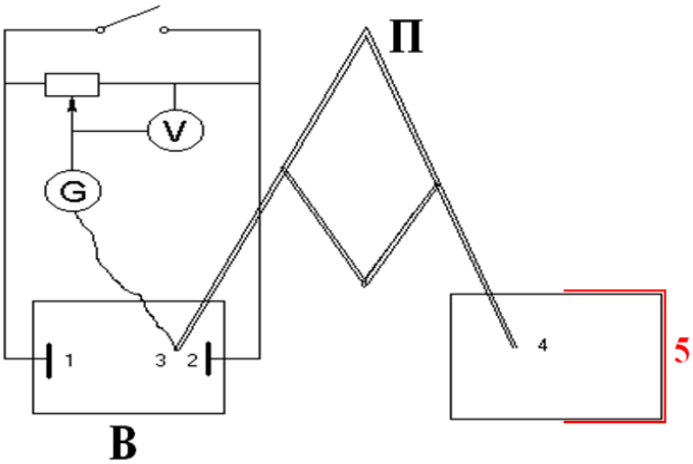


Рис. 2. Схема лабораторной установки

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

1. Укрепите под зажим **5** на установке **4** лист бумаги. Обводя зондом **3** между электродами 1 и 2 в электролитической ванне **В**, убедитесь, что фиксирующий конец **4** пантографа **П** не выходит за пределы листа бумаги (рис. 1 и 2). Если выходит, то найдите такое положение листа, при котором фиксирующий конец **4** пантографа **П** всегда оставался бы на листе 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 **Г** на ноль, после чего запишите показания вольтметра. В этом случае показания вольтметра будут равны потенциалу φ точки в электролитической ванне, в которой находится зонд **3**. Отметьте эту точку на листе бумаги и подпишите её потенциал.

4. Найдите следующую точку с таким же потенциалом. Для этого, плавно передвигая зонд 3 между электродами в ванне, 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. Для каждой такой точки второй конец пантографа, который передвигается по листу бумаги, займет определенное положение, которое отмечается стержнем от ручки.

5. Соедините точки, отмеченные стержнем 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 конец зонда **4** на листе бумаги в такое положение, при котором он будет находиться посередине между полученной эквипотенциальной линией и изображением какого-либо электрода.

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

7. Для построения третьей эквипотенциальной линии установите конец зонда **4** на листе бумаги в такое положение, при котором он будет находиться посередине между полученной первой эквипотенциальной линией и изображением второго электрода.

8. Таким образом, Вы нарисуете 3 эквипотенциальных линии.

9. Пользуясь свойством взаимного расположения силовых линий и эквипотенциалей, 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.

11. Измерьте расстояние между электродами в электролитической ванне (L_1) и расстояние между их изображениями (L_2) на листе бумаги и найдите масштабный множитель $k = \dfrac{L_1}{L_2}$.

12. Вычислите из формулы $\Delta\varphi = k\left|\vec{E}\right|\left|\Delta\vec{r}\right|\cos(\vec{E},\Delta\vec{r})$ значение напряженности электрического поля в трех любых точках электролитической ванны, используя Ваш рисунок. Точки должны быть расположены в различных местах рисунка. В этой формуле:

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов между двумя какими-либо точками **1** и **2** двух соседних эквипотенциальных линий,

φ_1 -потенциал в точке 1, φ_2 - потенциал в точке 2,

$\Delta\vec{r}$ - радиус-вектор, проведённый из точки 1 в точку 2,

$\vec{E}$ - вектор напряжённости электрического поля в точке 1,

$\cos(\vec{E},\Delta\vec{r})$ - косинус угла между векторами $\vec{E}$ и $\Delta\vec{r}$ в точке 1.

Контрольные вопросы

1. Электрический заряд. Виды зарядов и их взаимодействие. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.
2. Электрическое поле, его основные физические свойства. Электростатическое поле.
3. Основные параметры электростатического поля: напряженность и потенциал, связь между ними.
4. Графическое изображение электрических полей: силовые и эквипотенциальные линии, их свойства и взаимное расположение.
5. Принцип суперпозиции для напряженности и потенциала электростатического поля. Связь напряжённости электростатического поля $\vec{E}$ и потенциала φ.
6. Работа сил электрического поля по перемещения точечного заряда. Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух точечных зарядов, системы точечных зарядов.
8. Электрический диполь и его основные характеристики. Напряжённость и потенциал точечного диполя.

ВНИМАНИЕ: в связи с карантином, Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали добрые люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка

Лабораторная работа № 3-3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЫ

Студент_____группа_____

Допуск_____Выполнение_____Защита_____

Цель работы: Исследование характеристик электростатического поля.

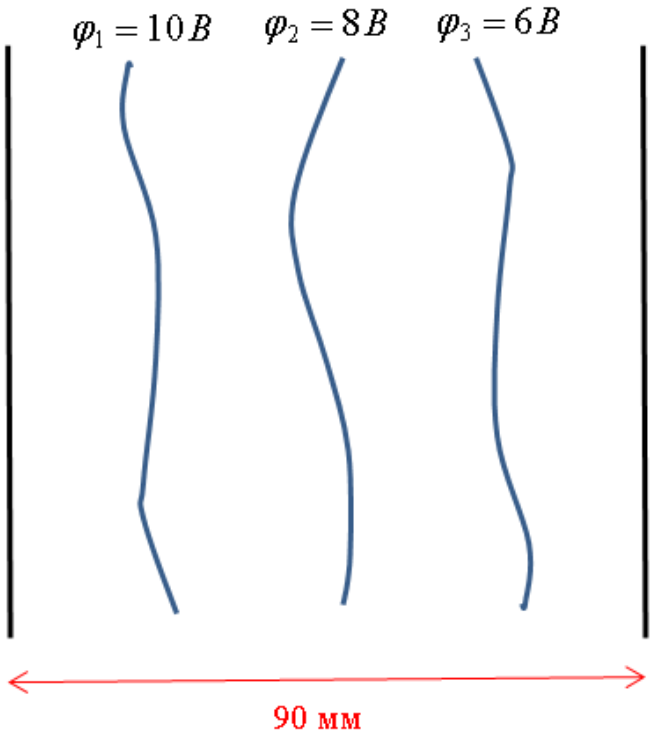
Приборы и принадлежности: ванна с пантографом, гальванометр.

(рисунок установки можете не делать)

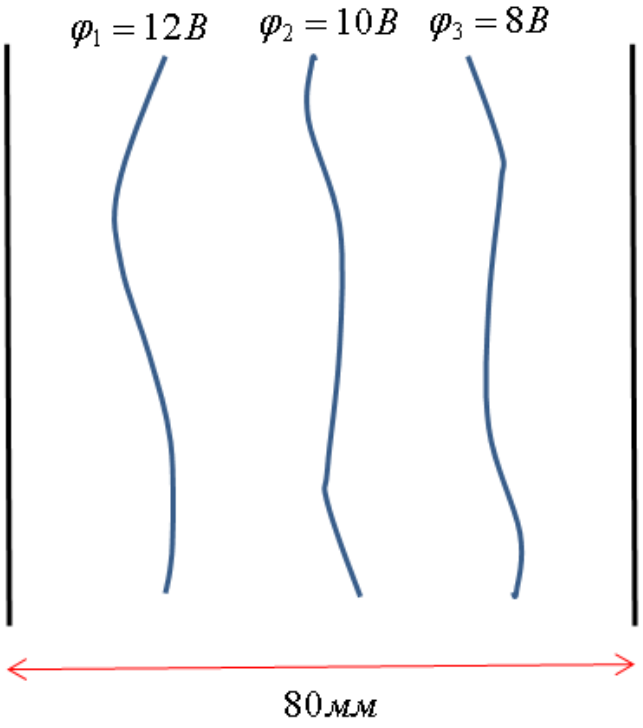
2) Нарисовать три эквипотенциальные линии,
3) Нарисовать силовые линии между электродами
4) Определить величину напряжённости электрического поля в трёх любых точках, используя рисунок

Результаты эксперимента приводятся ниже для каждой бригады

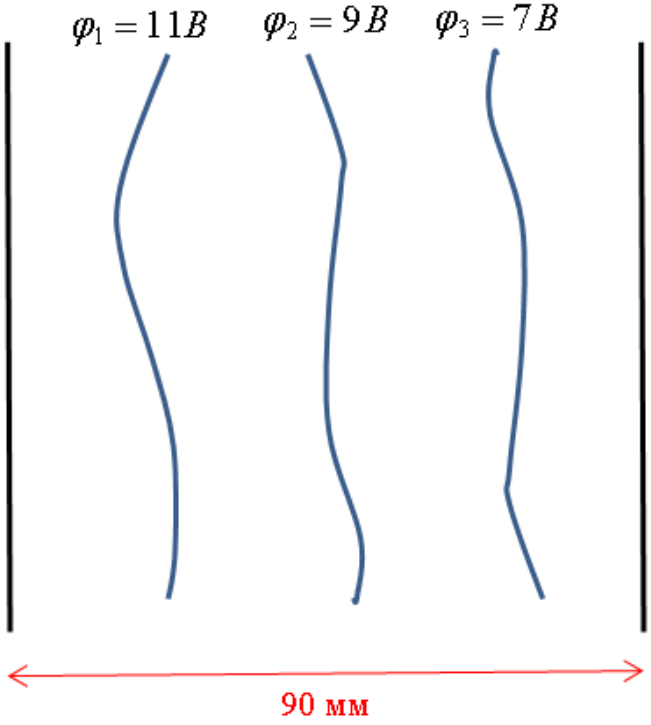
Бригада 1 и 5 $L_1 = 18$ см



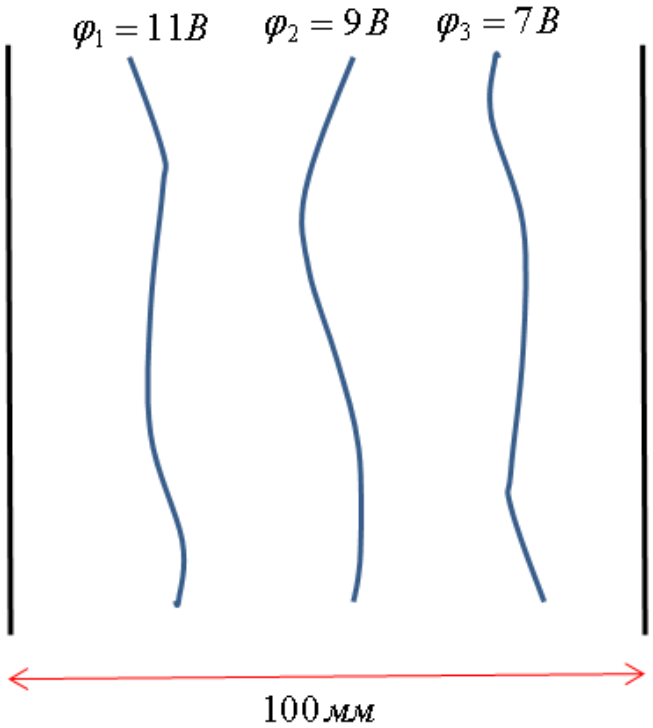
Бригада 2 и 6 $L_1 = 16$ см



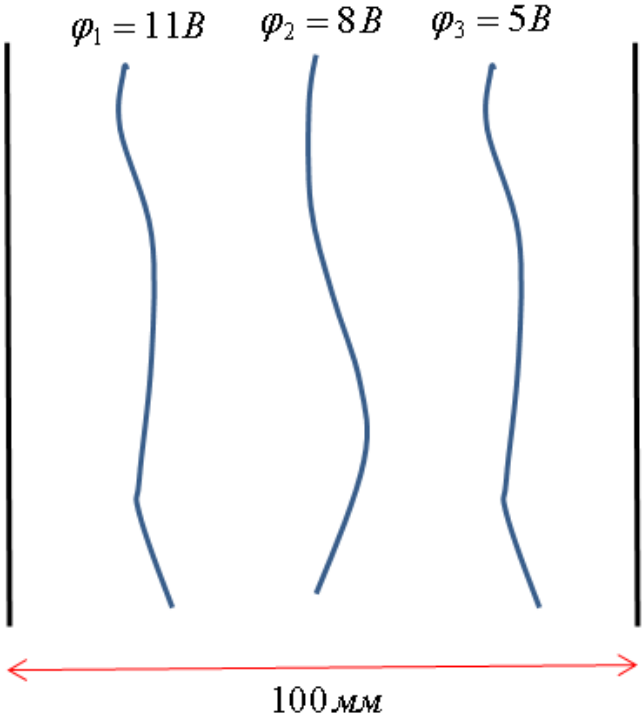
Бригада 3 и 7 $L_1 = 18$ см



Бригада 4 и 8 $L_1 = 20$ см



Бригада 9 и 10 $L_1 = 20$ см



Основные теоретические сведения

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

Электричесим зарядом q (ку) называется скалярная величина, являющаяся количественной мерой электромагнитного взаимодействия заряженных тел.

$[q] = Кл$, Кулон

В природе существует два вида зарядов: ***положительные*** $+q$ и ***отрицательные*** $-q$

.

Минимальным электрическим зарядом в природе обладает ***электрон*** e и ***протон*** p.

Заряд электрона *условно* считается *отрицательным* и равным $e = -1.6 \cdot 10^{-19}\ Кл$.

Заряд протона положителен и по величине в точности равен заряду электрона $p = 1.6 \cdot 10^{-19}\ Кл$.

Электрический заряд любого тела дискретен, то есть составляет целое кратное N от элементарного электрического заряда $e = 1.6 \cdot 10^{-19}\ Кл$, то есть

$$q = Ne.$$

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

Электрическим полем называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека и оказывающий силовое воздействие на движущиеся и неподвижные электрические заряды.

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

(такое поле создаётся неподвижными электрическими зарядами).

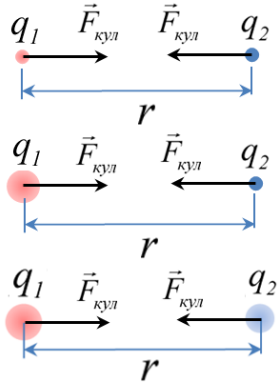
Точечным называется заряд, размером и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

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

Сила Кулона $F_{кул}$

(это сила электростатического взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами).

$$F_{кул} = k\frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}$$ - закон Кулона



где $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \dfrac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$; $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \dfrac{Ф}{м}$ - электрическая постоянная,

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

ε (эпсилон) - величина безразмерная

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

q_1 и q_2 - точечные заряды, $Кл$, Кулон, r – расстояние между зарядами, $м$

Для вакуума и воздуха ε = 1

Закон сохранения электрического заряда

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

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

Алгебраическая сумма зарядов электрически изолированной системы не изменяется при любых процессах, происходящих в этой системе, то есть

$$\sum q_i = const \quad \text{или} \quad \left(\sum q_{0i}\right)_{начальное} = \left(\sum q_i\right)_{конечное}$$

Основные характеристики электростатического поля

Основной характеристикой электрического поля является *напряжённость электрического поля*.

Напряженностью электрического поля $\vec{E}$ (е) *называется векторная величина, равная отношению силы* $\vec{F}_{эп}$, *действующей со стороны электрического поля на положительный точечный заряд* q, *в данной точке поля, к величине этого заряда* q:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{эп}}{q}. \qquad (1)$$

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

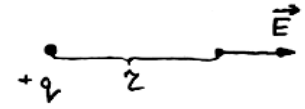
(пример: $E = 10\frac{Н}{Кл}$ означает, что на точечный заряд в *1 Кл* в данной точке поля действует сила равная *10 Н*).

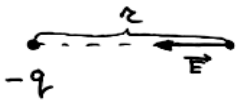
Из (1) следует, что сила, действующая со стороны электрического поля на точечный заряд, равна:

$$\vec{F}_{эп} = q\vec{E}.$$

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

$$E = k\frac{q}{\varepsilon r^2},$$





Второй характеристикой электростатического поля является *потенциал* φ.

Потенциалом φ (фи) *электростатического поля называется величина, равная потенциальной энергии положительного единичного точечного заряда, помещенного в данную точку поля:*

$$\varphi = \frac{W_П}{q}, \qquad (2)$$

где φ (фи) - потенциал электростатического поля, *В*, (Вольт);

$W_П$ (вэ пэ) - потенциальная энергия заряда q в электрическом поле, *Дж*, (Джоуль);

q - величина электрического заряда, *Кл*, (Кулон).

$[\varphi] = \frac{Дж}{Кл} = В$, Вольт.

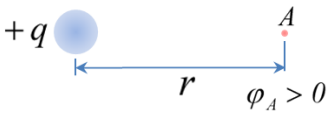
(пример: $\varphi = 10\ В$ означает, что точечный заряд q в 1 *Кл* в данной точке электрического поля имеет потенциальную энергию $W_П$, равную 10 *Дж*).

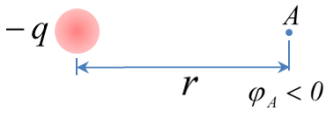
Из уравнения (2) следует, что потенциальную энергию точечного заряда в данной точке поля можно определить по формуле:

$$W_П = q\varphi$$

Потенциал электростатического поля точечного заряда можно определить по формуле:

$$\varphi = k\frac{q}{\varepsilon r}$$



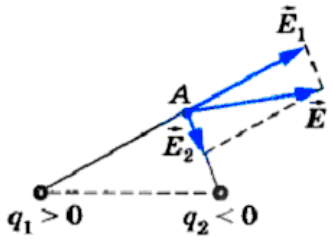


Принцип суперпозиции

(позволяет определить характеристики результирующего электростатического поля, создаваемого системой точечных зарядов)

Результирующая напряженность электрического поля $\vec{E}_{рез}$ *системы точечных зарядов равна векторной сумме напряженностей полей* $\vec{E}_i$, *создаваемых каждым из имеющихся зарядов:*

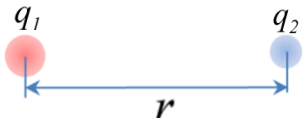
$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i .$$



Результирующий потенциал электростатического поля $\varphi_{рез}$ *системы точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов* φ_i *полей, создаваемых каждым из имеющихся зарядов:* $\varphi_{рез} = \varphi_1 + \varphi_2 + \ldots + \varphi_n = \sum \varphi_i$.

Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух точечных зарядов

$$W_П = k\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r},$$



где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$; q_1 и q_2 - точечные заряды, $Кл$;

ε - диэлектрическая проницаемость среды; r - расстояние между зарядами, $м$

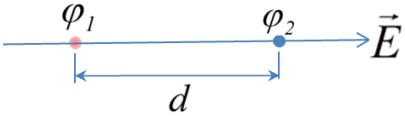
Потенциальная энергия электростатического взаимодействия системы точечных зарядов

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

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

Связь между модулем напряжённости однородного электростатического поля и разностью потенциалов

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$



где $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов между двумя точками, $[В]$

d - расстояние между этими точками, $[м]$

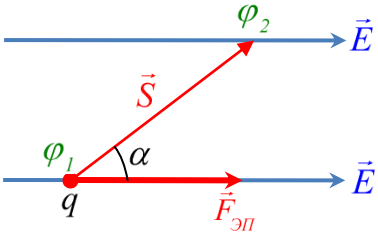
Работа сил электростатического поля по перемещению точечного заряда

Работу сил электростатического поля по перемещению точечного заряда q можно определить по одной из следующих формул:

$$A_{ЭП} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$A_{ЭП} = -(W_{П1} - W_{П2}),$$

$$A_{ЭП} = F_{ЭП} S \cos\alpha,$$



где q - точечный заряд, $Кл$,

φ_1 и φ_2 - потенциал электрического поля в начальной и конечной точках траектории, $В$,

$W_{П1}$ и $W_{П2}$ - потенциальная энергия заряда в начальной и конечной точках траектории, $Дж$,

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

α – угол между векторами $\vec{F}_{ЭП}$ и $\vec{S}$.

Связь между напряжённостью $\vec{E}$ и потенциалом φ

Разность потенциалов между двумя точками поля и напряжённость поля между этими точками связаны соотношениями:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \int_1^2 \vec{E}\, d\vec{l}\,.$$

или

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right),$$

где $\frac{\partial\varphi}{\partial x}$, $\frac{\partial\varphi}{\partial y}$ и $\frac{\partial\varphi}{\partial z}$ - частные производные потенциала φ электростатического поля по координатам x, y и z; $\vec{i}$, $\vec{j}$ и $\vec{k}$ - единичные орты координатных осей.

Графическое изображение электростатических полей

Электростатические поля можно изображать с помощью ***силовых линий*** и ***эквипотенциалей.***

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

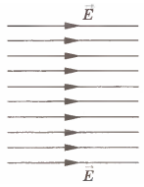
(за направление вектора $\vec{E}$ приняли направление, совпадающее с вектором силы $\vec{F}$, действующей на положительный точечный заряд в данной точке поля.)

Эквипотенциалью *называется геометрическое место точек одинакового потенциала* φ.

Принято, что:

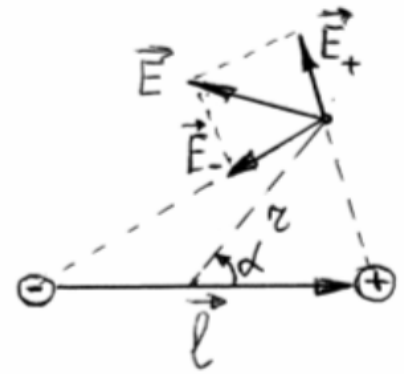
1. силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных,
2. силовые линии нигде не пересекаются,
3. силовые линии всегда перпендикулярны к эквипотенциалям и направлены в сторону уменьшения потенциала.

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.

Электрический диполь



Электрическим диполем называется система, состоящая из двух одинаковых по величине разноимённых точечных зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

$E = k\frac{p}{\varepsilon r^3}\sqrt{3\cos^2\alpha + 1}$ - **напряжённость** электрического поля точечного диполя

$\varphi = k\frac{p}{\varepsilon r^2}\cos\alpha$ - **потенциал** электрического поля точечного диполя

где p - электрический дипольный момент, $Кл \cdot м$, r - расстояние от точечного диполя до рассматриваемой точки, $м$,

α - угол между плечом диполя $\vec{l}$ и радиус-вектором $\vec{r}$ (см. рис.)

Плечом диполя $\vec{l}$ (эль) *называется вектор, проведённый от отрицательного заряда к положительному.*

$\left[\vec{l}\right] = м$, метр.

Точечным называется диполь, для которого расстояние r от рассматриваемой точки до диполя, много больше плеча диполя $\vec{l}$.

Электрическим дипольным моментом $\vec{p}$ называется векторная величина, равная произведению положительного заряда диполя q на его плечо $\vec{l}$:

$$\vec{p} = q\vec{l}.$$

$[p] = Кл \cdot м$, Кулон-метр.