

№1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЫ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Необходимо исследовать электростатическое поле. По результатам эксперимента построить эквипотенциальные линии $\varphi = \text{const}$ и линии напряжённости \vec{E} , а также графики зависимости φ и E от расстояния между электродами вдоль оси симметрии ванны.

2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Электростатическая ванна с электродами и электролитом, источник переменного тока, вольтметр.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электростатика – наука о неподвижных и неизменных во времени зарядах и создаваемых ими электрических полях. Основной задачей электростатики является определение напряжённости электрического поля \vec{E} , создаваемого различными заряженными телами и заряженными системами.

Аналитически эта задача решается тремя основными способами.

I способ – с помощью уравнения Гаусса (первого уравнения Максвелла).

II способ – по принципу суперпозиции.

III способ – по известному потенциалу φ электрического поля.

При конструировании различных электронных приборов (лампы, кинескопы, конденсаторы, микроскопы и др.) необходимо знать распределение электрического поля между электродами сложной формы. Аналитический расчёт поля удаётся только при самых простых конфигурациях электродов. Сложные электростатические поля исследуются экспериментально и задаются графически с помощью линий напряжённости и эквипотенциальных линий. Линии напряжённости (силовые линии) позволяют определить модуль и направление напряжённости поля. Касательная в любой точке линии напряжённости совпадает по направлению с вектором \vec{E} в этой точке

поля. Модуль $|\vec{E}|$ определяется по числу силовых линий, пересекающих единичную площадку, перпендикулярную линиям. Один из экспериментальных методов исследования электростатических полей – метод электролитической ванны.

Измерения в электролитической ванне производят с помощью электродов, форма которых воспроизводит натуру в некотором масштабе, обычно увеличенном. На них подаются потенциалы, равные натуральным или изменённые в некотором отношении (обычно уменьшенные). При этом между электродами образуется электрическое поле, отличающееся от исследуемого по напряжённости, но с точностью до масштаба совпадающее с ним по конфигурации.

В реальных конструкциях электростатическое поле существует либо в вакууме, либо в диэлектрике. В электролитической ванне поле существует в проводящей среде (электролите). Уравнения Максвелла, описывающие поля между электродами в обоих случаях.

записываются одинаково. $\text{div } \vec{E} = 0$ - нет источников поля, кроме самих электродов; $\text{rot } \vec{E} = 0$ - отсутствует переменное магнитное поле). Таким образом, поля действительно подобны. В то же время измерение поля в проводящей среде, особенно на переменном токе достаточно низкой частоты существенно проще. Низкая частота выбирается для возможности пренебречь в уравнении Максвелла

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

правой частью. На переменном токе обычным вольтметром легко измеряется разность потенциалов между двумя любыми точками проводящей среды, или потенциал любой точки среды относительно электрода, потенциал которого принят за нуль.

По известному потенциалу определяется напряжённость поля.

Связь между \vec{E} и φ следует из общего правила нахождения консервативной силы, действующей в потенциальном поле:

$$\vec{F} = -\text{grad } W_n, (1)$$

В электростатике $\vec{F} = q\vec{E}$; $W_n = q\varphi$, и соотношение (1) принимает вид

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi, (2)$$

Проекция напряжённости поля на произвольное направление l

определяется как

$$E_l = -\frac{\partial \phi}{\partial l}, (3)$$

т.е. численно равна скорости убывания потенциала на единицу длины в этом направлении. Вдоль линии напряжённости E_l и $\left| \frac{\partial \phi}{\partial l} \right|$ достигают максимального значения, равного $|\vec{E}|$.

В эксперименте сначала строятся эквипотенциальные линии (линии равного потенциала), а затем линии напряжённости (силовые линии).

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

4.1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

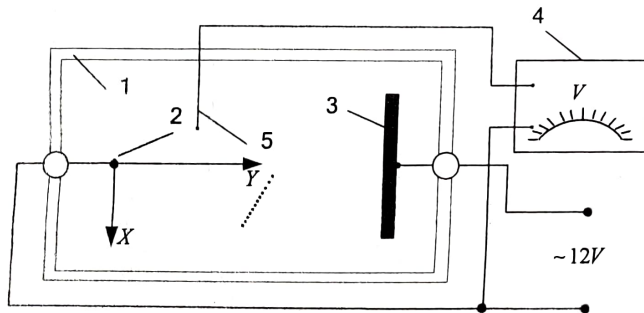


Рис. 1.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В ванну 1, наполненную электролитом (подсолённая вода), погружены электроды 2 и 3 заданной конфигурации. К электродам подводится напряжение 12 В промышленной частоты 50 Гц. Вольтметр 4 подключён к одному из электродов (потенциал которого принимается равным нулю) и к зонду 5. Подвижение зонда в ванне (т.е. координаты каждой точки) определяется с помощью координатной сетки. Напряжение зонда измеряется.

4.2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА

1. Собрать установку.

2. Включить источник питания и вольтметр. Дать приборам прогреться в течение 3-5 минут. Прикоснувшись зондом вольтметра к электроду 2, убедиться в наличии на нём нулевого потенциала (заземления).

3. Перемещая зонд 6 вдоль оси симметрии ванны (по оси y) от электрода 2 к электроду 3, получить координаты точек, потенциалы которых равны 3 В, 4 В, 5 В, 6 В, 7 В, 8 В, 9 В, 10 В. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

$\phi, В$	3	4	5	6	7	8	9	10
$y, см$								

4. Аналогично, перемещая зонд 6 в направлении примерно перпендикулярном к оси y снять координаты x и y точек, лежащих на эквипотенциальных линиях $\phi_1 = 5 В$, $\phi_2 = 7 В$, $\phi_3 = 9 В$. Ввиду симметрии поля координаты снимаются только с одной стороны от оси y , на другую сторону координаты отражаются зеркально. Снимается не менее 5 точек на каждой эквипотенциальной полулинии по всей полуширине ванны. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

x								
y								

4.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным пункта 3 (таблица 1) построить график $\phi = f_1(y)$ на миллиметровке.

2. Построить график зависимости $E = f_2(y)$ вдоль оси симметрии. Для этого разность $\Delta \phi = \phi_{i+1} - \phi_i = 1 В$ соседних значений ϕ из каждой строки таблицы 1 делим на разность $\Delta y = y_{i+1} - y_i$ соответствующих соседних значений нижней строки таблицы 1. Получаем $\frac{\Delta \phi}{\Delta y} = E$. График $E = f_2(y)$ мы строим для половины ванны.

Пример зависимости приведен на рис. 2.

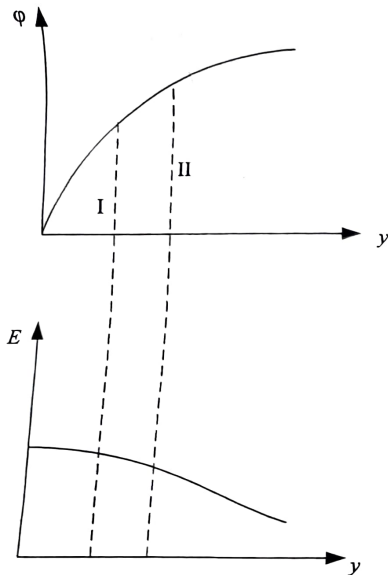


Рис. 2.

Ось y должна быть одинаковой для обеих зависимостей (начало,

масштаб). Тогда соотношение $E = \left| \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|$ подтверждается графическим

дифференцированием. $|\vec{E}|$ пропорционален тангенсу угла наклона

зависимости $\phi(y) \cdot |\vec{E}|$ уменьшается до постоянной величины в области, где ϕ увеличивается линейно.

3. Построить силовые линии электростатического поля (линии \vec{E}).

Для этого разделить электрод 3 на 10 одинаковых частей и провести 11 силовых линий. Центральная линия идёт вдоль оси симметрии. Пять построенных с одной стороны оси симметрии зеркально отобразить на другую. При построении использовать

известное положение о перпендикулярности эквипотенциальных линий и силовых линий. Т.е. силовая линия, выходя перпендикулярно поверхности электрода 2, доходит до электрода 3, всегда пересекая линии равного потенциала перпендикулярно. Направление силовых линий противоположно ходу построения: они направлены от электрода 3 с большим потенциалом к электроду 2 с меньшим (нулевым) потенциалом.

Проверить возможность определения модуля $|\vec{E}|$ по густоте силовых линий: число линий, пересекающих отрезок одинаковой длины (3 см), перпендикулярный силовым линиям (изогнутый по эквипотенциальной линии), пропорционально напряжённости поля. Получить отношение числа линий для $y_1 = 5$ см и $y_2 = 15$ см (вдоль оси y) и сравнить с отношением $\frac{E_1}{E_2}$ из графика $E = f_2(y)$.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём состоит основная задача электростатики?
2. Основные методы определения \vec{E} .
3. Связь между напряжённостью электрического поля и потенциалом.
4. Определение линии напряжённости электрического поля.
5. Как силовые линии определяют модуль напряжённости?
6. Докажите взаимную перпендикулярность эквипотенциальных и силовых линий.
7. В каком реальном приборе поле аналогично исследованному?

Список литературы

1. И.В. Савельев. «Курс общей физики». Т. 2, М., «Наука», 2002.
2. Л.Л. Гольдин. «Руководство к лабораторным занятиям по физике». М., «Наука», 1973.