

## Лабораторная работа №2 Исследование электрического поля<sup>1</sup>

**Цель работы:** исследование структуры электрического поля построением эквипотенциальных поверхностей и линий напряжённости.

**Приборы и принадлежности:**



стеклянная ванна с электродами и координатной сеткой



вольтметр универсальный В7-26 со щупом



источник ВС-24м



соединительные провода

2 установки с электродами различных конфигураций

	Установка 1	Установка 2
Плоские электроды	155x127x45x1 мм	130x93x17x3 мм
Большой цилиндр	159x20x3 мм	159x20x3 мм
Малый цилиндр	60x45x1 мм	49x19x3 мм

Примечание: Перед выполнением работы электроды желательно зачистить наждачной бумагой.

Также желательна масштабно-координатная бумага.

<sup>1</sup> Дополнительное задание подготовлено в рамках выполнения ВКР студенткой группы 5 «Г» факультета МФИИ Тютриной Мариной Викторовной. Научный руководитель Романов Р.В. 2007 г.

## Теоретическое введение

Электрическое поле в каждой точке пространства характеризуется вектором напряжённости  $\vec{E}$  и электрическим потенциалом  $\varphi$ , связанными друг с другом в электростатике соотношением

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (2.1)$$

В электрическом поле напряжённость и потенциал являются однозначной и непрерывной функцией координат. Распределение потенциала и напряжённости в пространстве определяется формой электродов и свойствами среды. В каждом электрическом поле можно выделить геометрическое место точек равного потенциала, которое образует поверхность равного потенциала, или эквипотенциальную поверхность. Форма эквипотенциальной поверхности также определяется формой электродов и свойствами среды, заполняющей пространство. Совокупность эквипотенциальных поверхностей даёт наглядную интерпретацию пространственной конфигурации электростатического поля. Аналогичную задачу можно решить, представляя линию напряжённости поля, то есть линию, в каждой точке которой вектор напряжённости касателен к ней. Исходя из взаимосвязи напряжённости поля и его электростатического потенциала (2.1), можно показать, что линии напряжённости поля перпендикулярны (ортогональны) к эквипотенциальным поверхностям.

Примерная картина эквипотенциальных линий и линий напряжённости разных конфигураций зарядов показана на рисунке 2.1.

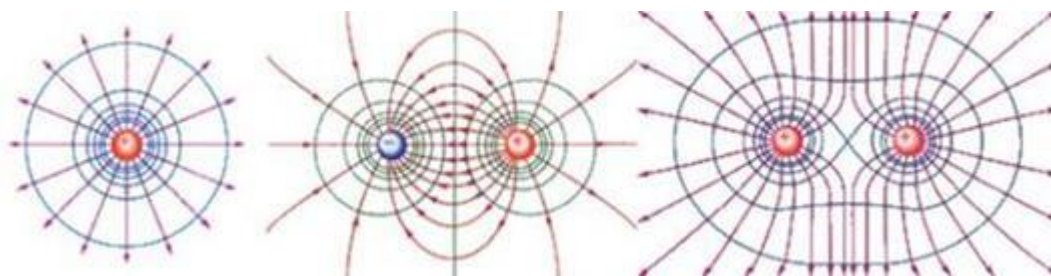


Рис. 2.1

В связи с этим задачи о представлении пространственной конфигурации электрического поля совокупностью эквипотенциальных поверхностей или совокупностью линий напряжённости оказываются равноправными и взаимозаменяемыми. Иначе говоря, получив совокупность эквипотенциальных поверхностей и используя принцип ортогональности линий напряжённости к эквипотенциальным поверхностям, можем сразу представить совокупность линий напряжённости, и наоборот.

Так как задача экспериментального определения потенциала поля значительно проще, чем определение вектора напряжённости, то обычно исследование поля производят на основе установления эквипотенциальных поверхностей. Эта задача имеет важное практическое значение в полях со сложной конфигурацией, например, поля в электростатических линзах электронно-лучевой трубки или электронного микроскопа, для которых теоретический расчёт эквипотенциальных поверхностей весьма затруднителен. В этом случае используется моделирование полей на основе принципа подобия, который утверждает, что если размеры электродов, создающих поле, и все расстояния между ними изменить в какой-либо пропорции, то значения напряжённости и потенциала поля изменятся, однако характер их распределения в пространстве остаётся прежним.

Методы измерения потенциала поля выбираются при этом, исходя из характера поля и точности, с которой необходимо произвести исследование поля. В настоящей работе при сохранении основной идеи моделирования электрического поля избран наиболее простой метод измерения потенциала.

Пространство между электродами заполняется слоем дистиллированной воды, обладающей незначительной электропроводностью (как правило, не более 5 мкСм/см при 20 °С<sup>1</sup>). Если к электродам приложить разность потенциалов  $\Delta\varphi_0$ , то через воду потечёт электрический ток, создавая напряжение между различными точками.

Измеряя высокоомным вольтметром напряжение между одним из электродов и исследуемой точкой, находим тем самым разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между электродом и данной точкой (вспомните определения понятий напряжения и разности потенциалов).

В электростатике не делается различий между понятием «разность потенциалов» и «напряжение». Принимая потенциал одного из электродов за 0, можно говорить о потенциале поля в точке.

Принимая электрод за эквипотенциальную поверхность и находя точки, которым соответствует одинаковый потенциал в них по отношению к электроду, мы тем самым определяем эквипотенциальную поверхность. При этом вносится систематическая ошибка, основными источниками которой являются, во-первых, замена стационарного электрического поля на квазистатическое; во-вторых, процессы поляризации электродов, обусловленные электролизом воды. От действия последнего фактора можно освободиться, если на электроды подавать не постоянное, а синусоидальное напряжение, что обеспечит перемену полярности электродов, и, следовательно, их деполяризацию.

---

<sup>1</sup> ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия С. 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005680> (дата обращения 04.06.2017).

## Методика выполнения работы

В работе предполагается провести исследование полей простейшей пространственной конфигурации, для которых можно теоретически получить уравнение эквипотенциальной поверхности. Такими полями являются поля плоского и цилиндрического конденсаторов.

Рассматривается плоская задача, то есть исследуется распределение потенциала поля не во всей области существования поля, а лишь в одной плоскости  $XOY$ . При этом в плоскости  $XOY$  получается линия пересечения плоскости с эквипотенциальной поверхностью. Так как поля плоского и цилиндрического конденсатора обладают плоской симметрией относительно плоскости, перпендикулярной к электродам, то плоскость  $XOY$  должна совпадать с плоскостью симметрии. При этом в каждой плоскости, параллельной плоскости симметрии, распределение потенциала будет совершенно аналогичным (без учёта краевых эффектов) полученному для исследованной плоскости.



Рис. 2.2.  
Общий вид установки



## Лабораторная работа №2

### Исследование электрического поля

Выполнил студент \_\_\_\_\_  
Факультет \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_  
Проверил \_\_\_\_\_  
Показания сняты \_\_\_\_\_  
Зачтено \_\_\_\_\_

### Порядок выполнения работы

#### I. Плоские электроды

1. Поместите в стеклянную ванну, поставленную на координатную сетку, плоские электроды вдоль линий сетки. Налейте в ванну воды слоем  $3\div 4$  мм. Убедитесь, что нижний край электродов не выступает из воды. Соберите цепь по схеме на рис. 2.4.

Включите вольтметр и источник в сеть. Коснитесь щупом электрода, не подключенного к клемме вольтметра. Установите напряжение  $\approx 30$  В.

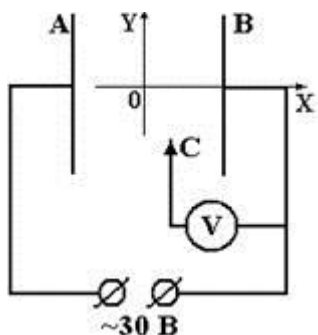


Рис. 2.4. Схема

А, В – плоские электроды,  
С – тонкий металлический щуп  
вольтметра

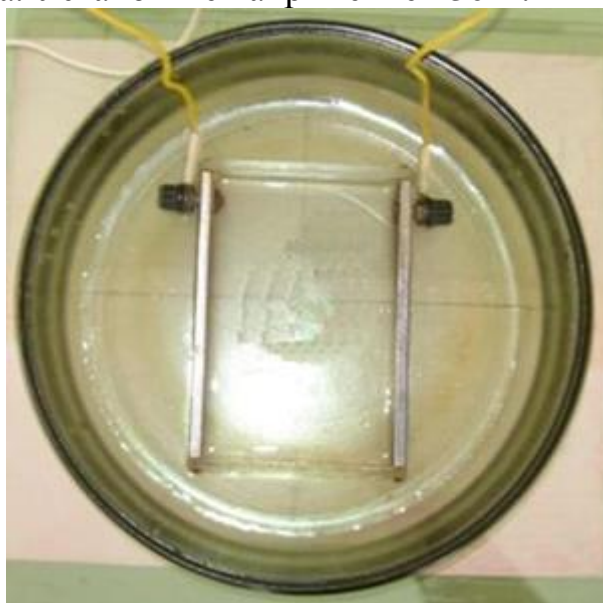


Рис. 2.5.

Электролитическая ванна  
с двумя плоскими электродами

2. Постройте эквипотенциальные линии для пяти значений потенциала с равными интервалами между ними.

Для этого нанесите на миллиметровую бумагу оси координат и положение электродов, выбрав подходящий масштаб.

Держа щуп вертикально, медленно перемещайте его так, чтобы показания вольтметра не изменялись. Координаты щупа при фиксированных показаниях вольтметра нанесите на заготовленный лист миллиметровой бумаги.

Точки с одинаковыми потенциалами соедините плавной линией. Около каждой линии напишите значение потенциала, которому она соответствует.

Определите потенциалы за пределами электродов.

3. Используя результаты п. 2 постройте зависимость  $\varphi(x,0)$  на отдельном графике. В случае необходимости проведите дополнительные измерения потенциала на оси  $OX$ . Сравните результаты с теоретическими.

4. Используя свойство ортогональности линий напряжённости и эквипотенциальных линий в плоскости  $XOY$ , нарисуйте систему линий напряжённости поля с указанием направления. По картине линий напряжённости сделайте вывод о характере распределения напряжённости поля, а по характеру эквипотенциальных линий, учитывая плоскую симметрию поля, о характере эквипотенциальных поверхностей.

5. Сравните результаты эксперимента с выводами теории о характере эквипотенциальных поверхностей и линий напряжённости полей плоского конденсатора.



Рис. 2.6.

Электролитическая ванна  
с двумя плоскими электродами  
и кольцом

## II. Плоские электроды и кольцо

1. Поместите в центре между плоскими электродами металлический цилиндр.

2. Повторите ход выполнения задания I для данной конфигурации электродов. Не забудьте измерить потенциал внутри цилиндра.

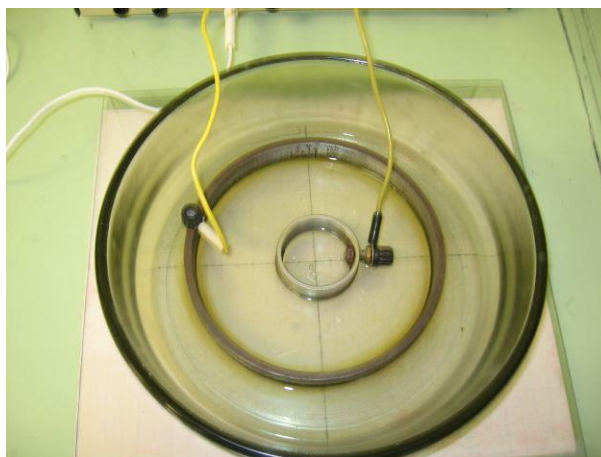


Рис. 2.7.

Электролитическая ванна  
с цилиндрическими электродами,  
расположенными коаксиально

## III. Цилиндрические электроды

1. Поместите в ванну цилиндрические электроды, располагая их коаксиально.

2. Повторите ход выполнения задания I для данной конфигурации электродов. Не забудьте измерить потенциал внутри малого цилиндра и снаружи большого.

## IV. Электроды конечной длины

(дополнительное задание для студентов физических специальностей)

### 4.1. Поле конденсатора с учётом краевых эффектов

4.1.1. Поместите в ванну плоские электроды меньших размеров: длина 50 мм; высота 20 мм; толщина 1 мм. Расстояние между электродами  $d = 40$  мм.

4.1.2. Постройте эквипотенциальные линии. Измерения производятся через каждые 2 В.

4.1.3. Постройте линии напряжённости.

4.1.4. Измерьте значения потенциала вдоль оси  $OX$   $\varphi(x,0)$ . Запишите полученные результаты в таблицу. Постройте график. Сравните с заданием I.



Рис. 2.8.

Электролитическая ванна с двумя плоскими электродами малой длины

### 4.2. Поле цилиндрического не коаксиального конденсатора

4.2.1. Замените плоские электроды цилиндрическими, имеющими разный диаметр. Размеры цилиндров: а) большой цилиндр: высота 20 мм; диаметр 25,5 мм; толщина 3 мм. б) малый цилиндр: высота 11 мм; диаметр 17 мм. Расстояние между цилиндрами 40 мм.

4.2.2. Повторите пункты 4.1.2 – 4.1.4.



Рис. 2.9.

Электролитическая ванна с цилиндрическими электродами, расположенными не коаксиально

## Контрольные вопросы

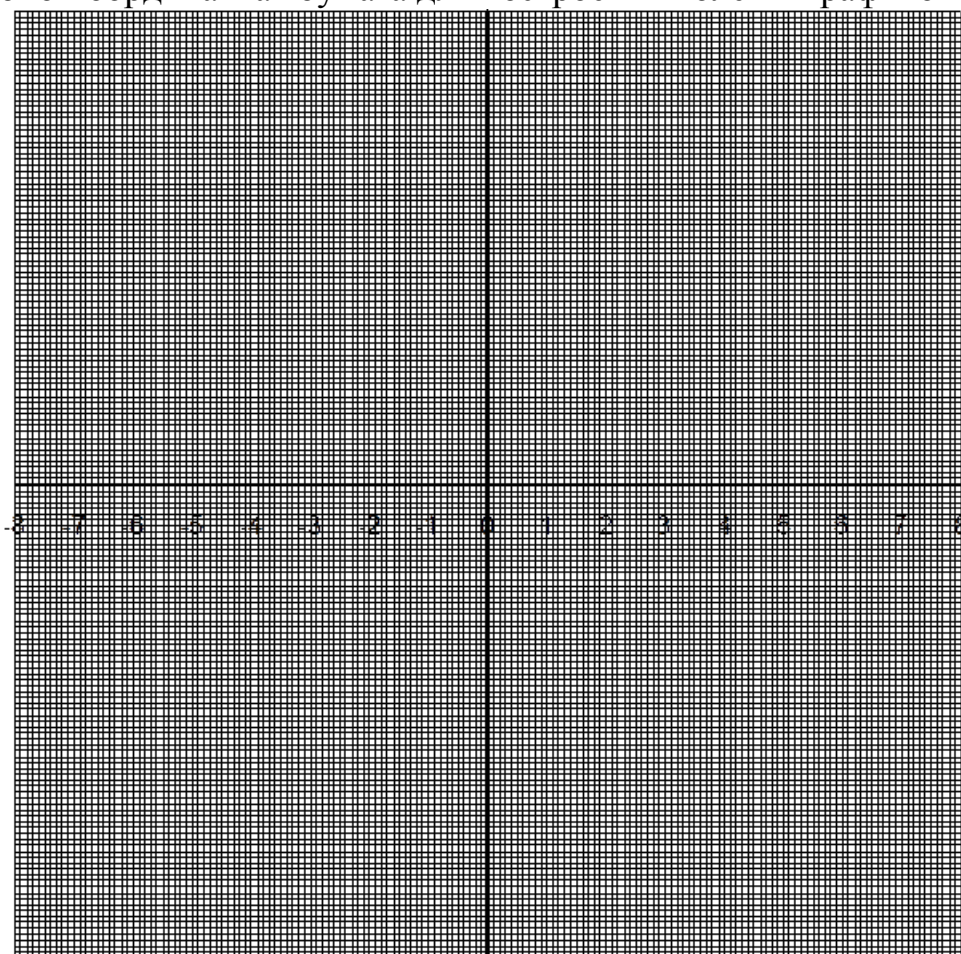
1. Дайте определение напряжённости и потенциала электрического поля? Какова связь между напряжённостью и потенциалом в электростатике?
2. Что называют эквипотенциальной поверхностью и линией напряжённости? Какова их взаимная ориентация?
3. Как распределяются заряды на заряженном проводнике? На незаряженном проводнике в электрическом поле?
4. Получите зависимость потенциала от координаты на оси для двух плоских электродов; для двух коаксиальных цилиндров.
5. Почему в данной экспериментальной задаче среда между электродами должна обладать малой электропроводностью?
6. Почему в работе применяется не постоянный, а переменный ток?

## Литература

(см. основной список литературы)

## Приложение

масштабно-координатная бумага для построения полей и графиков





## Приложение

### Вольтметр универсальный В7-26 краткая инструкция по эксплуатации



Аналоговый универсальный вольтметр В7-26 предназначен для измерения постоянного, переменного синусоидального напряжения и сопротивления постоянному току. Диапазон измерения напряжения постоянного тока 30 мВ ... 300 В, до 1000 В (с внешним делителем ДН-518), переменного тока по НЧ входу (20 Гц ... 20 кГц) 200 мВ ... 300 В, сопротивления: 10 Ом ... 1000 МОм.

На передней панели прибора расположены (см. рис.):

1. переключатель режима измерения;
2. переключатель пределов измерения;
3. ВЧ пробник;
4. стрелочный прибор для отсчёта измерений;
5. входные клеммы: вход напряжения (постоянного и НЧ), общий, вход для измерения сопротивления;
6. регуляторы установки нуля и бесконечности;
7. включатель и индикатор сети.

### Для работы

1. Для подключения к схеме используем левое и центральное гнездо.
2. Щуп должен быть вставлен до упора, и его не трогать.
3. Включаем прибор в сеть и даём ему прогреться 2...3 мин.
4. Устанавливаем переключатель режима на переменное напряжение.
5. Устанавливаем переключатель пределов на 30 В по средней строке.
6. Замыкаем входные клеммы и устанавливаем стрелку на нулевую отметку.
7. Регулятором напряжения на ВС-24м устанавливаем напряжение 30 В (по наиболее удобной второй сверху шкале до конца).
8. Всё.

### Литература

1. Вольтметр универсальный В7-26. Краткая инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rf.unn.ru/eledep/lab/instr\\_v7-26.html](http://www.rf.unn.ru/eledep/lab/instr_v7-26.html) (дата обращения 14.03.2017).
2. Универсальный вольтметр В7-26. Описание [Электронный ресурс]. URL: <http://mirznanii.com/a/121906/universalnyy-voltmetr-v7-26> (дата обращения 14.03.2017).
3. Вольтметр универсальный В7-26. Формуляр (290 Kb), Техническое описание и инструкция по эксплуатации + схемы (1,2 Mb) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.astena.ru/teh\\_2.html](http://www.astena.ru/teh_2.html) (дата обращения 14.03.2017).