

Лабораторная работа №2

Исследование электрического поля¹

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
2 установки с электродами различных конфигураций



соединительные провода

	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.

¹ 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 φ , связанными друг с другом в электростатике соотношением

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

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.

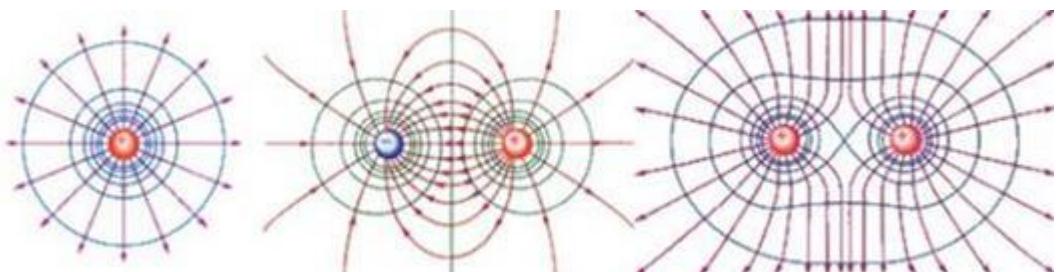


Рис. 2.1

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 трубы 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 изменяется, 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 °C¹). 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.

¹ 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 ≈ 30 В.

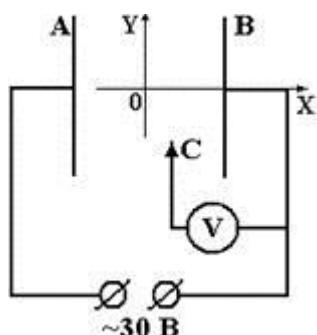


Рис. 2.4. Схема

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

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.

Рис. 2.5.

Электролитическая ванна
с двумя плоскими электродами

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.

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.

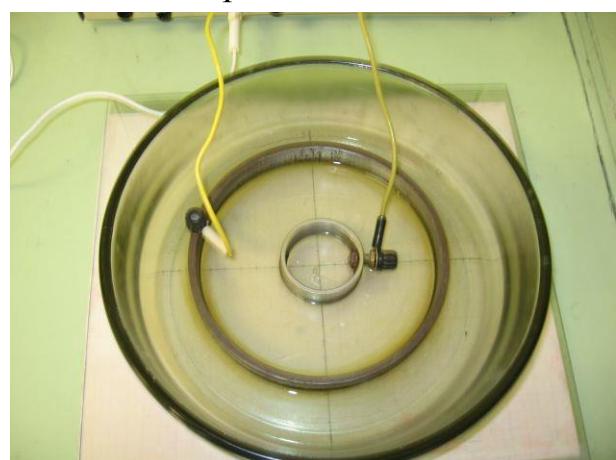


Рис. 2.7.
Электролитическая ванна
с цилиндрическими электродами,
расположенными коаксиально

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

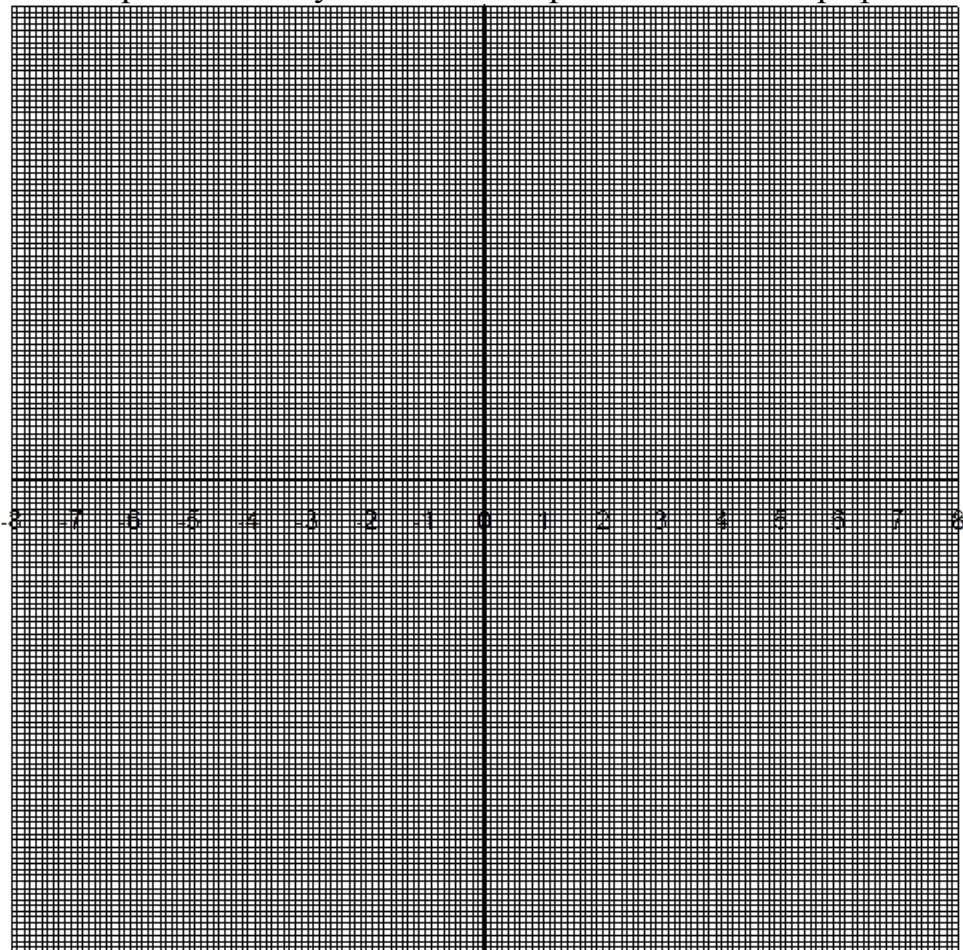
1. Дайте определение напряжённости и потенциала электрического поля? Какова связь между напряжённостью и потенциалом в электростатике?
2. Что называют эквипотенциальной поверхностью и линией напряжённости? Какова их взаимная ориентация?
3. Как распределяются заряды на заряженном проводнике? На незаряженном 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 (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 (дата обращения 14.03.2017).