
Группа: М3110_____ К работе допущен: _____

Студент: Косовец Роман Евгеньевич_____ Работа выполнена: _____

Преподаватель: Прохорова Ульяна_____ Отчет принят: _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.01

Изучение электростатического поля методом моделирования

1. Цель работы:

Построение сечений эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля на основе экспериментального моделирования распределения потенциала в слабопроводящей среде.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

- С помощью лабораторной установки получение системы эквипотенциальных поверхностей при наличии проводящего тела и без него
- Изображение эквипотенциальных линий
- Изображение системы силовых линий поля с указанием направления
- Рассчитать величину напряженности в центре электролитической ванны и в окрестности одного из электродов.
- Нахождение области с минимальной и максимальной напряженностью
- Построение графика зависимости $\varphi = \varphi(x)$ для двух исследованных конфигураций поля для «горизонтали» $Y = 10$ см

3. Объект исследования - Модель плоского конденсатора

4. Метод экспериментального исследования:

Заполнить ванну не дистиллированной водой, чтобы она проводила электрический ток, зондом промерить разность потенциалов между одним из электродов и точками в ванночке.

5. Рабочие формулы и исходные данные:

1. Средняя напряжённость между двумя точками:

$$\langle E_{1,2} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{1,2}}$$

2. Поверхностная плотность зарядов:

$$\sigma' \cong -\frac{\varepsilon_0 \Delta \varphi}{l_n} = \varepsilon_0 E_n,$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

3. Расчёт погрешности косвенных измерений для напряжённости:

$$\Delta E = \sqrt{2 \left(\frac{1}{l} \Delta \varphi_1 \right)^2 + \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{1,2}^2} \Delta l_{1,2} \right)^2}$$

4. Расчёт погрешности косвенных измерений для напряжённости:

$$\Delta \sigma' = \sqrt{\left(\frac{\partial \left(-\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{l_n} \right)}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\partial \left(-\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{l_n} \right)}{\partial l_n} \Delta l_n \right)^2} = \varepsilon_0 \sqrt{\left(\frac{1}{l_n} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi}{l_n^2} \Delta l_n \right)^2}$$

6. Измерительные приборы:

№ п/п	Наименование	Цена деления	Погрешность прибора
1	Вольтметр	0,01 В	0,005 В
2	Линейка	0,1 см	0,05 см

7. Схема установки:

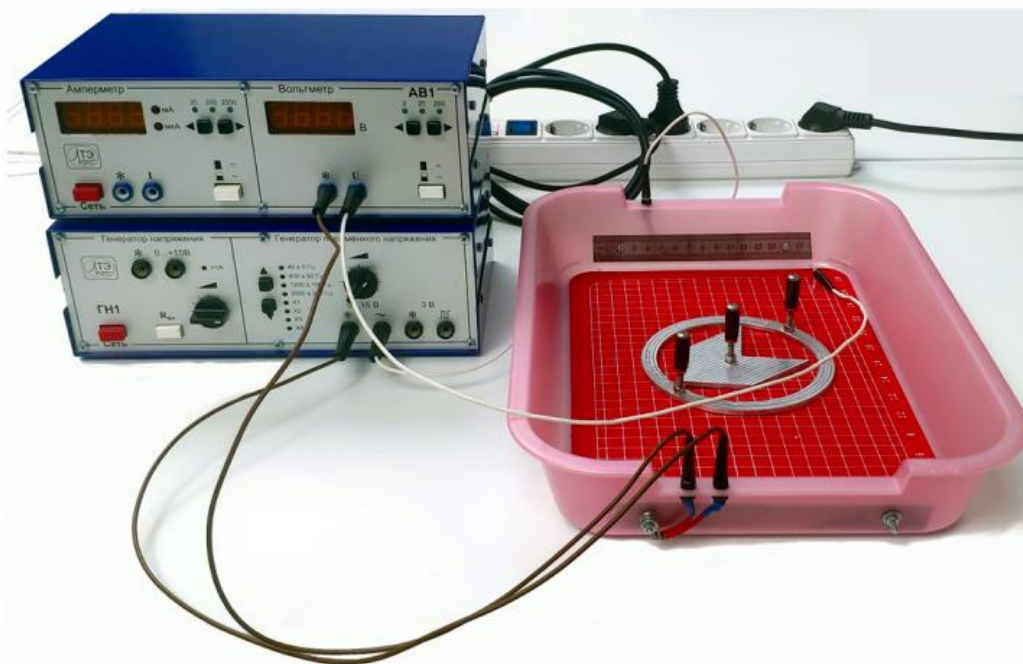
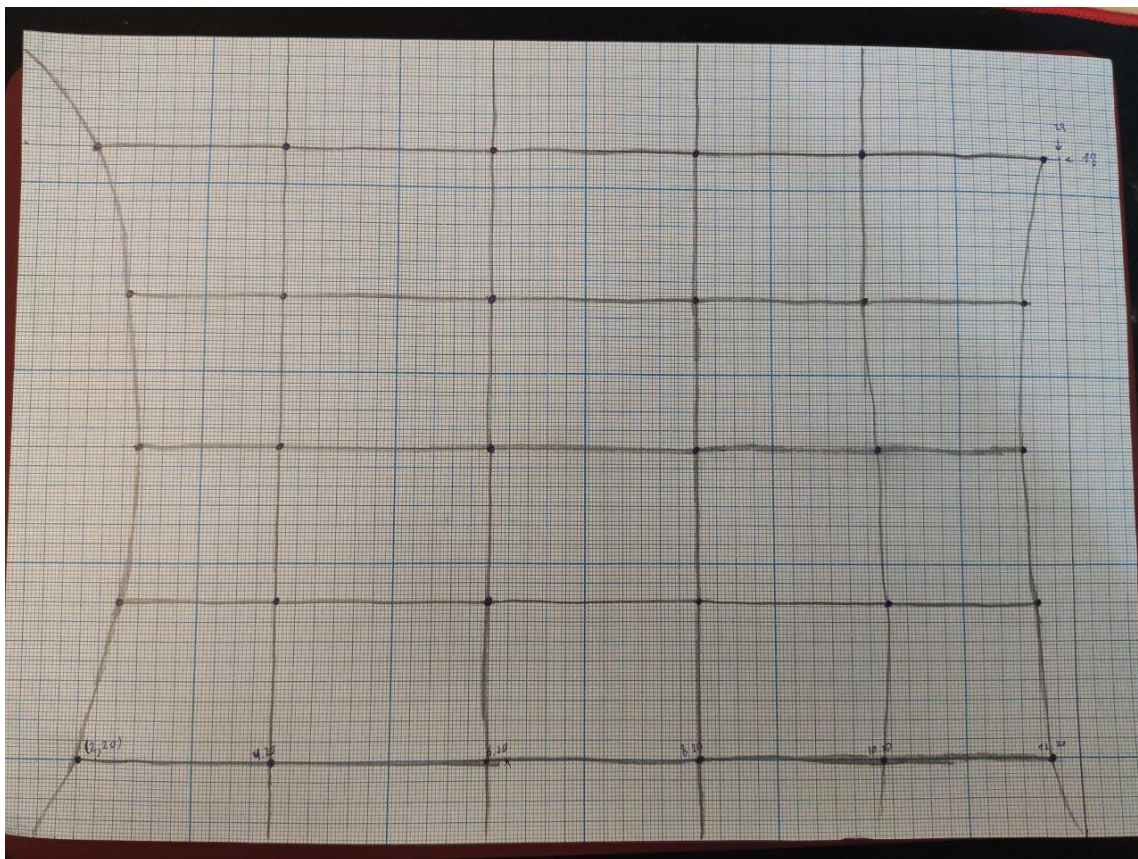


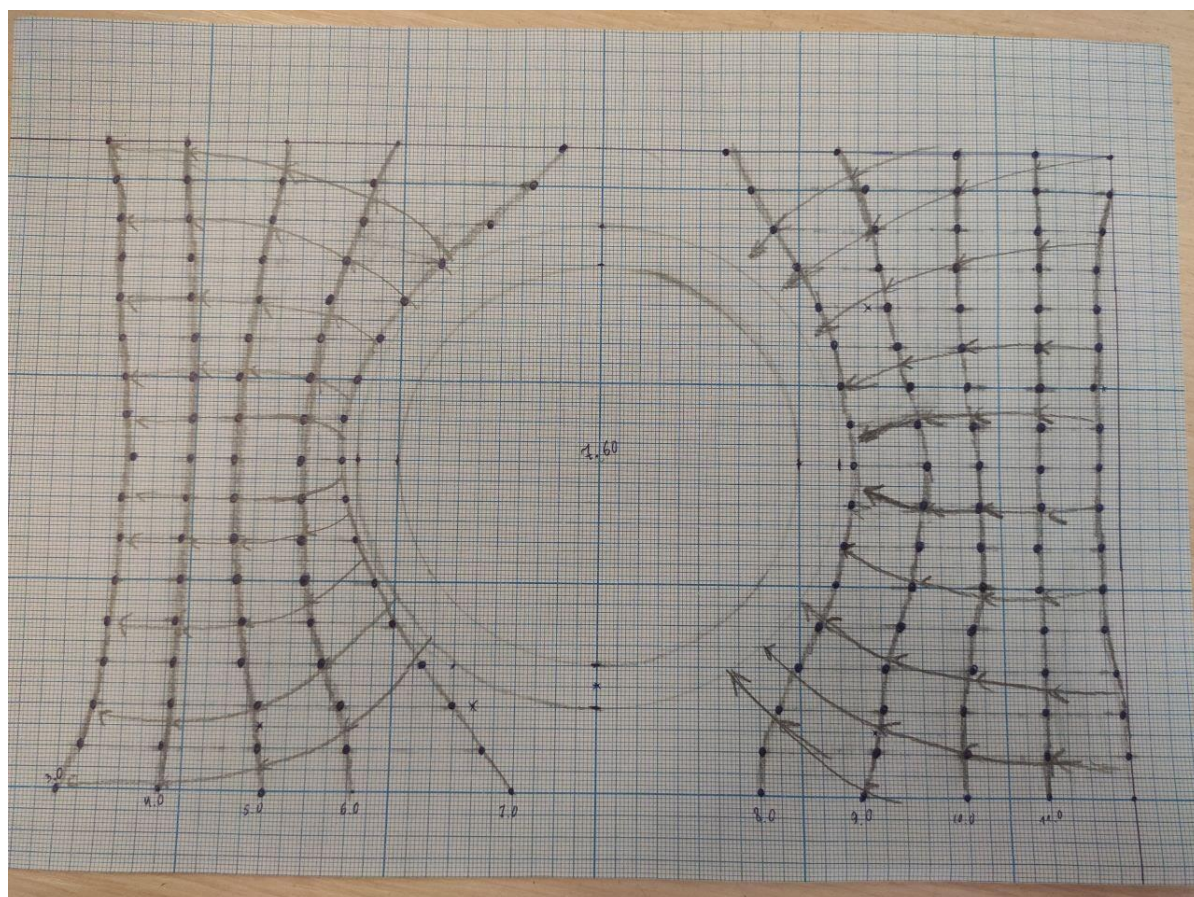
РИС. 4. Общий вид лабораторной установки.

8. Результаты прямых измерений и их обработки:

(распределение потенциала в модели плоского конденсатора)



(распределение потенциала в модели плоского конденсатора при наличии проводящего тела)



9. Расчет результатов косвенных измерений:

Рассчитаем напряжённость электрического поля по формуле (1). Если в центре плоского конденсатора между эквипотенциальными поверхностями 5,6 и 7,6 вольт, а ср. расстояние между поверхностями равно $l_{1,2} = 4,2 \pm 0,2$ см:

$$\bullet \langle E_{\text{центр}} \rangle \cong \frac{(7,6 - 5,6) \text{ В}}{4,2 \text{ см}} = 47,6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Погрешность считаем по формуле (3):

$$\bullet \Delta \langle E_{\text{центр}} \rangle = \sqrt{2 \left(\frac{0,1 \text{ В}}{4,2 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{(7,6 - 5,6) \text{ В}}{(4,2 \text{ см})^2} 0,2 \text{ см} \right)^2} = 4,0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Сделаем тоже самое и рассчитаем напряжённость электрического поля вблизи нулевой обкладки. Если между эквипотенциальными поверхностями 0 и 1,6 вольт, а расстояние $l = 2,2 \pm 0,2$ см:

$$\bullet \langle E_{\text{край}} \rangle \cong \frac{(1,6 - 0) \text{ В}}{2,2 \text{ см}} = 72,7 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Погрешность считаем по формуле (3):

$$\bullet \Delta \langle E_{\text{край}} \rangle = \sqrt{2 \left(\frac{0,1 \text{ В}}{2,2 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{(7,6 - 5,6) \text{ В}}{(2,2 \text{ см})^2} 0,2 \text{ см} \right)^2} = 9,2 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем поверхностную плотность заряда на обкладке. Наименьшее расстояние от эквипотенциальной поверхности до электрода и разницу в потенциалах на электроде и на поверхности будем считать малыми.

Вычисляем поверхностную плотность заряда по формуле (2):

$$\bullet \sigma' \cong - \frac{\varepsilon_0 \Delta \varphi}{\Delta l_n} = \varepsilon_0 E_n = - 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \frac{(1,6 - 0) \text{ В}}{2 \text{ см}} = - 7,8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Погрешность считаем по формуле (4):

$$\bullet \Delta \sigma' = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \sqrt{\left(\frac{0,1 \text{ В}}{2 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{1,6 \text{ В}}{4 \text{ см}^2} 0,1 \text{ см} \right)^2} = 4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Самая большая напряжённость электрического поля будет там, где силовые линии идут ближе всего друг к другу, а эквипотенциальные линии идут чаще всего. То есть она будет у внешней поверхности кольца, потому что именно там силовые линии сгущаются. Вычисляем по формуле (1):

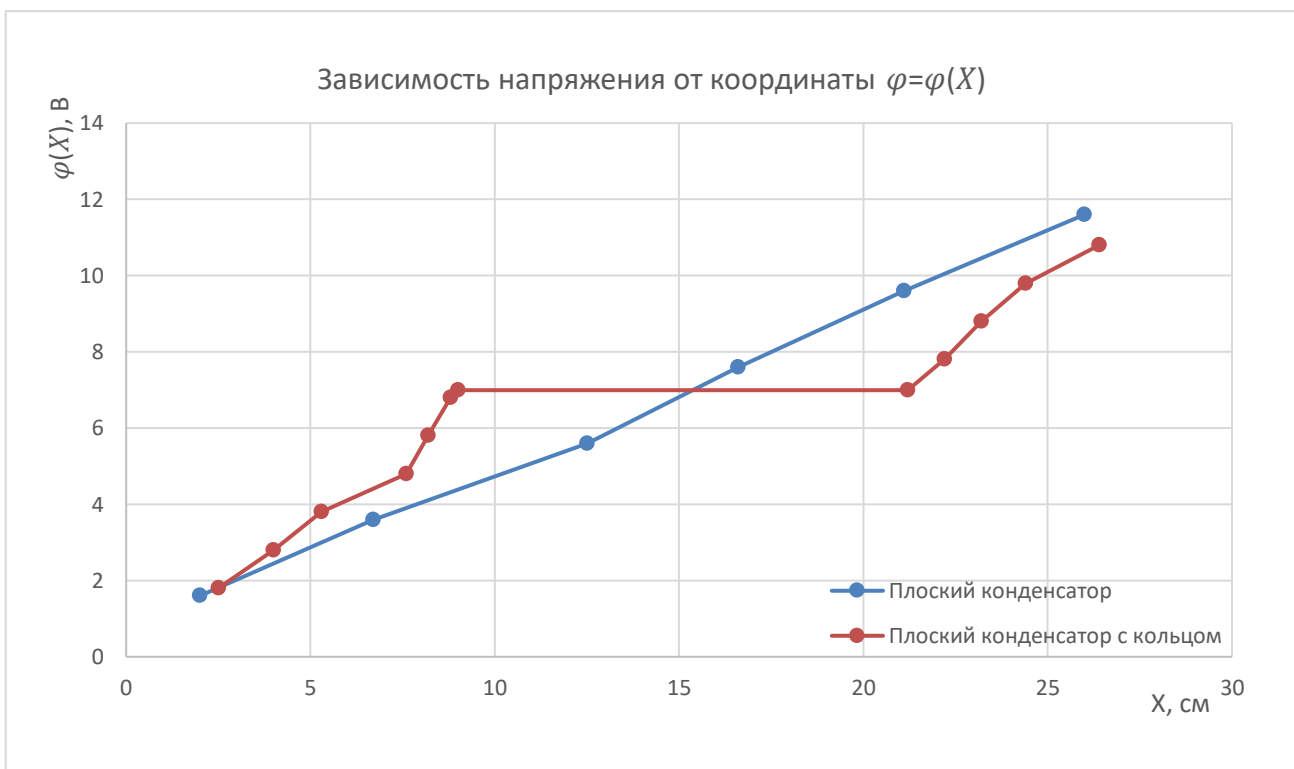
$$\bullet \langle E_{\text{max}} \rangle \cong \frac{1 \text{ В}}{0,5 \text{ см}} = 200 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Погрешность вычисляем по формуле (3):

$$\bullet \Delta \langle E_{\max} \rangle = \sqrt{2 \left(\frac{0,1B}{0,5 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{1B}{(0,5 \text{ см})^2} 0,1 \text{ см} \right)^2} = 49 \frac{B}{\text{м}}$$

Следовательно, самая маленькая напряжённость будет там, где силовые линии максимально друг от друга отдалены. Она совпадает со внутренней областью кольца, где напряжённость равна нулю. По формуле (1) разность потенциалов между любыми двумя точками из этой области равна 0:

$$\bullet \langle E_{\min} \rangle = 0 \frac{B}{\text{м}}$$



10. Окончательные результаты:

Напряжённость поля в центре плоского конденсатора:

- $\langle E_{\text{центр}} \rangle \cong 47,6 \pm 4,0 \frac{B}{\text{м}}$;
- $\delta \langle E_{\text{центр}} \rangle = 8\%$

Напряжённость поля рядом с электродом:

- $\langle E_{\text{край}} \rangle \cong 72,7 \pm 9,2 \frac{B}{\text{м}}$;
- $\delta \langle E_{\text{край}} \rangle = 12\%$

Поверхностная плотность заряда:

- $\sigma' \cong -(78 \pm 4) 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$;
- $\delta \sigma' = 5\%$

Максимальная напряжённость поля:

- $\langle E_{\max} \rangle \cong 200 \pm 49 \frac{B}{m}$;
- $\delta \langle E_{\max} \rangle = 0,25\%$

Минимальная напряжённость поля:

- $\langle E_{\min} \rangle = 0 \frac{B}{m}$

11. Выводы и анализ результатов работы:

В процессе выполнения лабораторной работы были построены эквипотенциальные поверхности и силовые линии электрического поля, образованного двумя электродами в электролитической ванне. Посчитаны значения поверхностной плотности заряда и напряжённость электрического поля в разных местах.

Также был построен график зависимости потенциала от координат для двух исследованных конфигураций поля. После построения, было замечено, что без проводящего тела график имеет линейный вид, а при наличии проводящего тела – кусочно-заданной функции, похожей на кубическую. Кроме этого, выяснилось, что макс. знач. Напряженности поля при наличии проводящего кольца находится вблизи на той же горизонтали, что и его центр.