

Группа Р3220 _____ К работе допущен _____

Студент Касьяненко В. М. _____ Работа выполнена _____

Преподаватель Хвастунов Н. Н. _____ Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе

№3.01

Изучение электростатического поля

методом моделирования

1. Цель работы

Изучения распределения электростатического поля путём его моделирования.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

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

3. Объект исследования.

Электростатическое поле

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 ванной.

Это можно сделать, потому что сопротивление нагрузочного сопротивления в вольтметре много больше сопротивления воды в ванне и потерей напряжения на вольтметре можно пренебречь.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Используемые формулы:

1. Средняя напряжённость между двумя точками $\langle E_{1,2} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{1,2}}$

2. Поверхностная плотность зарядов $\sigma' \cong -\frac{\varepsilon_0 \Delta \varphi}{l_n} = \varepsilon_0 E_n$, где $\Delta \varphi$ изменение потенциала при смещении на малое расстояние l_n по нормали к поверхности проводника. в нашем эксперименте $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

3. Расчёт погрешности косвенных измерений для напряжённости

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

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.

1. Электролитическая ванна с нанесённой на дно координатной сеткой и плоскими металлическими электродами по краям ванны, подключенными к многофункциональному генератору напряжения ГН1.
2. Измерительный зонд в виде тонкого изолированного проводника, подсоединенного к вольтметру.
3. Вольтметр в составе комбинированного прибора АВ1, он показывает действующую разность потенциалов между зондом и электродом, подключенным ко второму гнезду вольтметра. Собственное сопротивление вольтметра существенно превышает сопротивление воды в ванне, для того чтобы измерительный ток вольтметра не шунтировал токи в модели и не искажал распределение электрического поля.
4. Проводящее тело в форме кольца.

| № п/п | Наименование | Используемый диапазон | Погрешность прибора |
|-------|--|-----------------------|---------------------|
| 1. | Вольтметр | 0-14В | 0,1 В |
| 2. | Координатная сетка на дне ванны по оси X | 2-28 см | 0,5 см |
| 3. | Координатная сетка на дне ванны по оси Y | 2-18 см | 0,5 см |

7. Результаты прямых измерений и их обработки.

Результаты измерений см в приложении.

8. Расчёт результатов косвенных измерений.

В центре плоского конденсатора между эквипотенциальными поверхностями в 5,4 и 7,4 вольт напряжённость электрического поля будет рассчитываться по формуле (1). Среднее расстояние между этими поверхностями равно $l_{1,2} = 4,0 \pm 0,5$ см

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle \cong \frac{(7,4 - 5,4) \text{ В}}{4,25 \text{ см}} = 47,05 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Погрешность по формуле (3) будет следующей:

$$\Delta \langle E_{\text{центр}} \rangle = \sqrt{2 \left(\frac{0,1 \text{ В}}{4,25 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{(7,4 - 5,4) \text{ В}}{(4,25 \text{ см})^2} 0,25 \text{ см} \right)^2} = 4,32 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

В тоже время, напряжённость электрического поля вблизи нулевой обкладки между эквипотенциальными поверхностями в 0 и 1,4 вольта и расстоянием в $l = 2,0 \pm 1$ см, считается следующим образом:

$$\langle E_{\text{край}} \rangle \cong \frac{(1,4 - 0) \text{ В}}{2,5 \text{ см}} = 56,0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Погрешность:

$$\Delta \langle E_{\text{край}} \rangle = \sqrt{2 \left(\frac{0,1 \text{ В}}{2,5 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{(7,4 - 5,4) \text{ В}}{(2,5 \text{ см})^2} 0,5 \text{ см} \right)^2} = 12,54 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Теперь рассчитаем поверхностную плотность заряда на обкладке. Будем считать наименьшее расстояние от эквипотенциальной поверхности до электрода малым, как и разницу в потенциалах на электроде и на этой поверхности. Тогда поверхностную плотность заряда можно будет вычислить по формуле (2):

$$\sigma' \cong -\frac{\epsilon_0 \Delta \phi}{\Delta l_n} = \epsilon_0 E_n = -8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \frac{(1,4 - 0) \text{ В}}{2 \text{ см}} = -6,2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

А погрешность будет считаться по формуле (4):

$$\Delta \sigma' = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \sqrt{\left(\frac{0,1 \text{ В}}{2 \text{ см}} \right)^2 + \left(\frac{1,4 \text{ В}}{4 \text{ см}^2} 0,1 \text{ см} \right)^2} = 4,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

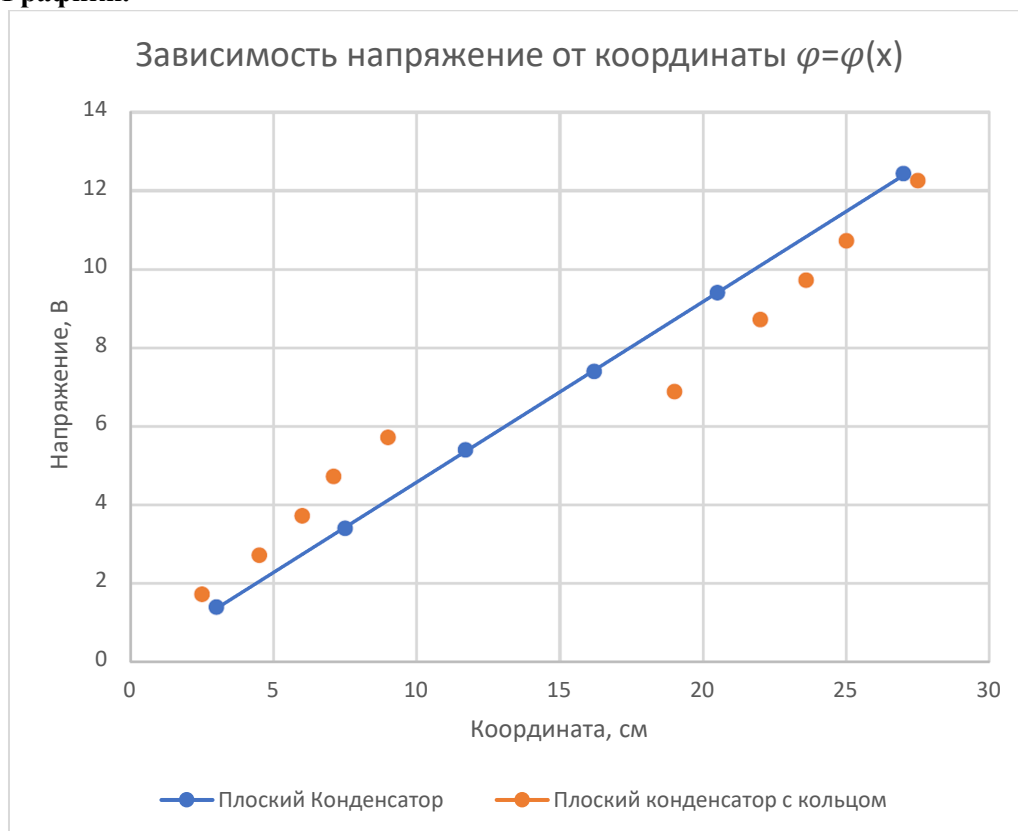
Самая большая напряжённость электрического поля будет там, где силовые линии идут ближе всего друг к другу, а эквипотенциальные линии идут чаще всего. Она будет у внешней поверхности кольца, т.к. там силовые линии сгущаются. Напряжённость электрического поля там примерно будет равна

$\langle E_{max} \rangle \cong \frac{1B}{0,5 \text{ см}} = 200 \frac{B}{M}$, по формуле (1). С погрешностью (формула 3):

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

Соответственно самая маленькая напряжённость будет там, где силовые линии максимально друг от друга отдалены. Она совпадает со внутренней областью кольца, потому что там напряжённость получается нулевая. Ведь по формуле (1) разность потенциалов между любыми двумя точками из этой области равна 0.

9. Графики.



10. Окончательные результаты.

Напряжённость поля в центре плоского конденсатора $\langle E_{центр} \rangle \cong 47,05 \pm 4,32 \frac{B}{M}$,

$\delta \langle E_{центр} \rangle = 9\%$

Напряжённость поля рядом с электродом $\langle E_{край} \rangle \cong 56,0 \pm 12,54 \frac{B}{M}$, $\delta \langle E_{край} \rangle = 22\%$

Поверхностная плотность заряда $\sigma' \cong -(62 \pm 4.7) 10^{-11} \frac{Кл}{M^2}$ $\delta \sigma' = 7.5\%$

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 значение поверхностной плотности заряда на одном из электродов и напряжённость электрического поля – его значение в центре, у электрода, максимальное и минимальное значение в случае с кольцом.

На примере было показано, что конфигурация поля зависит проводников, помещённых внутрь поля. Так потенциал на кольце-проводнике и внутри него был равный, а значит напряжённость поля там была нулевая и большинство силовых линий начинались и заканчивались на кольце. Также электрическое поле в ванночке зависит от электролита, налитого туда.

На результат и погрешности повлияло то, что ванна, в которой проводились измерения, должна была быть неподвижна в ходе всего эксперимента, чтобы электрическое поле в ней не перераспределялось.

12. Приложения.

