

Группа Р3206

К работе допущен _____

Студенты: Брагин Р.А. Р3216, Юдин Г.Д. Р3213,
Алексеев П.С. Р3219

Работа выполнена _____

Преподаватель Горбенко А.П.

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.

- 1) Нанести измеренные данные на миллиметровую бумагу;
- 2) Построить сечения эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля на основе экспериментального моделирования распределения потенциала в слабопроводящей среде;
- 3) Проанализировать данные, рассчитать величины косвенных значений;
- 4) Построить графики зависимостей $\varphi = \varphi(X)$ для обеих конфигураций.

3. Объект исследования.

Потенциал в слабопроводящей среде

4. Метод экспериментального исследования.

Эксперимент. Размещение в слабопроводящей среде электродов для построения сечений эквипотенциальных поверхностей и силовых линий

5. Рабочие формулы и исходные данные.

- 1) Средняя напряженность между двумя точками $\langle E_{12} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}},$

$$\sigma' \cong -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell_n} \quad \sigma' = \varepsilon_0 E_n$$

2) Поверхностная плотность заряда.

, где $\Delta\phi$ изменение потенциала при смещении на малое расстояние l по нормали к поверхности проводника, в нашем эксперименте $\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$

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	0-14 В	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. Схема установки

В приложение.

8. Результаты прямых измерений:

В приложение.

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

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

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle = \frac{(7,7-5,7)\text{В}}{4,7\text{см}} = 0,4355 \frac{\text{В}}{\text{см}} = 43,55 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

В тоже время, напряженность электрического поля в окрестности левого электрода между эквипотенциальными поверхностями в 3,7 и 1,7 В и расстоянием в $l=4$ см, считается следующим образом:

$$< E_{\text{лев.край}} > = \frac{(3.7-1.7)V}{4\text{cm}} = 0.5 \frac{B}{\text{cm}} = 50 \frac{B}{\text{м}}$$

Рассчитаем поверхностную плотность электрического заряда на электродах:

$$\sigma' = \epsilon_0 E_{\text{лев.край}} = -8.85 * 10^{-12} * 50 = -442.5 * 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Наибольшая напряженность электрического поля наблюдается в тех местах, где силовые линии располагаются ближе друг к другу, а эквипотенциальные линии встречаются чаще. В случае кольца максимальная напряжённость будет на его внешней поверхности, так как именно там силовые линии наиболее сгущены. Приблизительное значение напряжённости электрического поля в этой области будет равно

Тогда считаем по формуле (1):

$$< E_{\text{max}} > = \frac{(8.2-7.55)V}{0.5\text{cm}} = 1.3 \frac{B}{\text{cm}} = 130 \frac{B}{\text{м}}$$

Таким образом, наименьшая напряженность электрического поля будет наблюдаться в тех местах, где силовые линии максимально удалены друг от друга. Это соответствует внутренней области кольца, где напряжённость оказывается равной нулю. Это объясняется тем, что по формуле (1) разность потенциалов между любыми двумя точками в этой области равна 0.

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Выведем формулы для расчета погрешности напряженности:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\delta(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{l_{12}})}{\delta\varphi_1} \Delta\varphi_1\right)^2 + \left(\frac{\delta(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{l_{12}})}{\delta\varphi_2} \Delta\varphi_2\right)^2 + \left(\frac{\delta(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{l_{12}})}{\delta l_{12}} \Delta l_{12}\right)^2} = \sqrt{2\left(\frac{\Delta\varphi}{l}\right)^2 + \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l^2} \Delta l\right)^2}$$

Выведем формулу для расчета поверхностной плотности:

$$\Delta\sigma' = \sqrt{\left(\frac{\partial(-\epsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{l_n})}{\partial\varphi} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\partial(-\epsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{l_n})}{\partial l_n} \Delta l_n\right)^2} = \epsilon_0 \sqrt{\left(\frac{1}{l_n} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi}{l_n^2} \Delta l_n\right)^2}$$

Погрешность напряженности в центре будет рассчитываться по формуле:

$$\Delta < E_{\text{центр}} > = \sqrt{2 * \left(\frac{0.1B}{4.7\text{см}}\right)^2 + \left(\frac{(7.7-5.7)V}{(4.7\text{см})^2} * 0.5\text{см}\right)^2} = 5.45 \frac{B}{\text{м}}$$

Погрешность напряженности вблизи левого электрода будет рассчитываться по формуле:

$$\Delta < E_{\text{лев.край}} > = \sqrt{2 * \left(\frac{0.1B}{4\text{см}}\right)^2 + \left(\frac{(3.7-1.7)B}{(4\text{см})^2} * 0.5\text{см}\right)^2} = 5.59 \frac{B}{\text{м}}$$

Погрешность поверхностной плотности рассчитаем по формуле:

$$\Delta \sigma' = 8.85 * 10^{-12} \sqrt{\left(\frac{0.1B}{0.04\text{м}}\right)^2 + \left(\frac{2B}{(0.04\text{м})^2} * 0.005\text{м}\right)^2} = 113 * 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Рассчитаем погрешность самой большой напряженности:

$$\Delta < E_{\text{max}} > = \sqrt{2 * \left(\frac{0.1B}{0.5\text{см}}\right)^2 + \left(\frac{(8.2-7.55)B}{(0.5\text{см})^2} * 0.5\text{см}\right)^2} = 28.29 \frac{B}{\text{м}}$$

11. График:

В приложение.

12. Окончательные результаты.

Напряжённость поля в центре плоского конденсатора:

$$< E_{\text{центр}} > = (43.55 \pm 5.45) \frac{B}{\text{м}}$$

$$\delta < E_{\text{центр}} > = 12.5\%$$

Напряженность поля рядом с крайним левым электродом:

$$< E_{\text{лев.край}} > = (50.0 \pm 5.59) \frac{B}{\text{м}}$$

$$\delta < E_{\text{центр}} > = 11.1\%$$

Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma' = - (442.5 \pm 113.0) * 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\delta < \sigma' > = 25.5\%$$

Максимальная напряжённость поля:

$$< E_{\text{max}} > = (130.00 \pm 28.29) \frac{B}{\text{м}}$$

$$\delta < E_{\text{max}} > = 21.8\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе выполнения лабораторной работы было проведено экспериментальное исследование электростатического поля методом моделирования в электролитической ванне. Основное внимание уделялось построению эквипотенциальных поверхностей и силовых линий для двух конфигураций: классического плоского конденсатора и системы с проводящим кольцом. А также была установлена линейная зависимость потенциала от координаты x для плоского конденсатора. Построил графики зависимости потенциала от координаты для двух исследуемых случаев: для модели плоского конденсатора без кольца внутри зависимость получилась линейной, а с кольцом потенциал внутри кольца не изменялся. На погрешность повлиял зонд, который при разных положениях погружения, выдавал разные значения.

