

Группа: *K3221*

Студент: *Доценников Никита*

Преподаватель: *Попов Антон Сергеевич*

К работе допущен:

Работа выполнена:

Отчет принят:

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.01

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.

- Экспериментально построить сечения эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля для плоского конденсатора и плоскости с дополнительным проводящим кольцом.
- Измерить распределение потенциала в слабопроводящей среде и по данным построить эквипотенциальные линии.
- По свойству ортогональности эквипотенциалей и линий напряжённости построить картину силовых линий и указать их направление.
- Рассчитать величины напряжённости поля в центре ванны и вблизи электрода.
- По данным измерений оценить поверхностную плотность зарядов на электродах.
- Для эксперимента с кольцом определить области минимальной и максимальной напряжённости и оценить $E_{\min}$ и $E_{\max}$.

- Построить и сравнить графики $\varphi(X)$ для горизонтали $Y = 10$ см для двух экспериментов.

3. Объект исследования.

Электростатическое поле между двумя плоскими электродами в однородной слабопроводящей среде и изменение распределения потенциала при установке в ванну проводящего кольца.

4. Метод экспериментального исследования.

Моделирование электростатического поля в слабопроводящей среде с использованием двух плоских электродов, подключённых к генератору переменного напряжения. Потенциал внутри ванны измеряют зондом, подключённым к вольтметру. По набору точечных измерений потенциала строят эквипотенциальные линии, затем по ортогональности строят силовые линии.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Формула	Пояснения
$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$	Вектор напряженности электрического поля. $\vec{F}$ - сила, действующая на неподвижный заряд q , помещенный в данную точку. Заряд q - пробный. $\vec{r}$ - радиус-вектор точки.
$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{\Pi}(\vec{r})}{q}$	Потенциал в данной точке поля. W_{Π} - потенциальная энергия заряда q , помещенного в данную точку.
$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2).$	Работа сил электростатического поля над зарядом q при его перемещении из точки с

	потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 .
$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \equiv -\vec{\nabla} \varphi$ $\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_1^2 \vec{E} d\vec{l}$	Связь напряженности и потенциала электростатического поля.
$\vec{\nabla} \varphi = \hat{e}_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \hat{e}_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \hat{e}_z \frac{\partial \varphi}{\partial z}$	Вектор градиента потенциала. x, y, z - декартовы координаты. $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z$ - единичные вектора положительных направлений (орты) координатных осей Ox, Oy, Oz
$\langle E_{12} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$	Средняя напряженность между точками на одной силовой линии с потенциалами φ_1 и φ_2 , где l_{12} - длина участка силовой линии между точками.
$\vec{j} = \sigma \vec{E}$	Закон Ома в дифференциальной форме, где $\vec{j}$ - вектор плотности тока в проводящей среде, σ - удельная электропроводность среды.
$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} \equiv \text{div } \vec{j} = \frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} + \frac{\partial j_z}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$	Плотность тока в любой проводящей среде удовлетворяет уравнению неразрывности. ρ - объемная плотность заряда. Для стационарного тока $\rho =$

	$\text{const}, \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ и в этом случае $\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0.$
$\sigma(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$	Следует из однородности σ .
$\text{rot } \vec{j} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{j} = 0$	Получено путем применения к $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ операцию нахождения ротора и учитывая безвихревой характер постоянного тока.
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$	Подставили $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ в $\text{rot } \vec{j} \equiv \vec{\nabla} \times \vec{j} = 0$

Исходные данные:

- Межэлектродная установленная амплитуда напряжения $U = 14\text{В}$.
- Частота переменного напряжения генератора $f = 400 \pm 50$ Гц
- Диапазон вольтметра $0 \div 20\text{В}$.
- Координатная сетка на миллиметровой бумаге шаги по Y используются: 2, 6, 10, 14, 18 см; при конфигурации с кольцом рекомендуется уменьшить шаг потенциала и шаг Y рядом с кольцом до 1–2 см.
- Шаг изменения потенциала для первого эксперимента $\delta\varphi = 2\text{В}$
- Для эксперимента с кольцом $\Delta\varphi = 1\text{В}$
- Погрешности измерения координат $\Delta X = \pm 1$ мм, $\Delta Y = \pm 0.5$ мм.

6. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Вольтметр	AB1	0-20 В	$\pm 0.5\%$
2	Амперметр	AB1	0-5 А	$\pm 1.0\%$
3	Резистор	ГН1	0-10 кΩ	$\pm 5\%$

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

8. Результаты прямых измерений.

Без диска.

φ_1	X_1	Y_1	φ_2	X_2	Y_2	φ_3	X_3	Y_3
1.89	2.0	2	3.89	6.8	2	5.89	11.8	2
	2.5	6		6.8	6		12.2	6
	2.8	10		7.0	10		12.5	10
	2.7	14		6.9	14		12.8	14
	2.0	18		7.2	18		12.6	18

φ_4	X_4	Y_4	φ_5	X_5	Y_5	φ_6	X_6	Y_6
7.89	16.7	2	9.89	21.3	2	11.89	26.1	2
	16.8	6		21.3	6		25.7	6
	16.5	10		21.3	10		25.6	10
	16.3	14		21.1	14		25.7	14
	16.3	18		21.0	18		26.0	18

С диском.

φ_1	X_1	Y_1	φ_2	X_2	Y_2	φ_3	X_3	Y_3	φ_4	X_4	Y_4
2.4	2.0	2	3.4	4.1	2	4.4	6.1	2	5.4	8.4	2
	2.1	4		4.0	4		5.9	4		7.8	4
	2.6	6		4.1	6		5.9	6		7.4	6
	2.8	8		4.0	8		5.5	8		7.2	8
	3.0	10		4.2	10		5.8	10		7.2	10
	2.8	12		4.2	12		5.7	12		7.7	12
	3.1	14		4.6	14		6.3	14		8.2	14
	2.7	16		4.5	16		7.0	16		—	16
	2.8	18		4.8	18		7.5	18		9.8	18

φ_5	X_5	Y_5	φ_6	X_6	Y_6	φ_7	X_7	Y_7	φ_8	X_8	Y_8
6.4	11.2	2	7.4	16.0	2	8.4	19.8	2	9.4	22.2	2
	—	4		—	4		20.3	4		—	4
	9.0	6		—	6		21.3	6		22.8	6
	—	8		—	8		21.7	8		—	8
	8.8	10		—	10		21.8	10		22.9	10
	—	12		—	12		21.3	12		—	12
	11.0	14		—	14		20.7	14		22.5	14
	—	16		—	16		19.7	16		—	16
	12.3	18		15.5	18		18.0	18		21.7	18

φ_9	X_9	Y_9	φ_{10}	X_{10}	Y_{10}
10.4	24.5	2	11.4	26.7	2
	—	4		—	4
	24.4	6		26.2	6
	—	8		—	8
	24.6	10		26.2	10
	—	12		—	12
	24.2	14		26.0	14
	—	16		—	16
	23.9	18		26.1	18

9. Построение эквипотенциальных линий.

Сначала точки с миллиметровой бумаги были перенесены в компьютер при помощи программы в Приложении.

...

10. Расчет величины напряженности.

Расстояние между эквипотенциалами $\varphi = 5.89\text{В}$ и $\varphi = 7.89\text{В}$:

$$l = 16.5 - 12.3 = 4.2 \text{ см} = 0.042\text{м} \Delta\varphi = 7.89 - 5.89 = 2.0\text{В}$$

$$E_{\text{ц}} = \frac{\Delta\varphi}{l} = \frac{2.0}{0.042} = 47.6 \text{ В/м}$$

Берём точки у правого края при $y = 10$: $\varphi = 9.89\text{В}$, $\varphi = 11.89\text{В}$.

$$l = 25.6 - 21.3 = 4.3 \text{ см} = 0.043\text{м} \Delta\varphi = 11.89 - 9.89 = 2.0\text{В}$$

$$E_{\text{э}} = \frac{\Delta\varphi}{l} = \frac{2.0}{0.043} = 46.5 \text{ В/м}$$

У правого электрода ближайшая точка: $\varphi = 11.89\text{В}$ при $x = 25.6 \text{ см}$

До электрода: $\Delta l_n = 30 - 25.6 = 4.4 \text{ см} = 0.044\text{м}$ До электрода $\varphi = 14\text{В}$

$$\Delta\varphi = 14 - 11.89 = 2.11\text{В} \sigma' = \varepsilon_0 \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n} = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{2.11}{0.044} \sigma' = 4.24 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

Погрешности:

$$\Delta\varphi = \pm 0.1\text{В}, \Delta X = \pm 1 \text{ мм}$$

Для $E_{\text{ц}}$:

$$\varphi = \frac{2 \cdot 0.1}{2.0} = 0.1 \delta l = \frac{2 \cdot 0.001}{0.042} = 0.048 \delta E = \sqrt{0.1^2 + 0.048^2} = 0.111 \Delta E_{\text{ц}} = 47.6 \cdot 0.111 = 5.3 \text{ В/м}$$