

Группа	P32111	К работе допущен
Студент	Назирджонов Некруз Фарходович	Работа выполнена
Преподаватель	Крылов Василий Александрович	Отчёт принят

Рабочий протокол и отчёт по лабораторной работе №3.01 “Изучение электростатического поля методом моделирования”

Цель работы.

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

Схема установки.

1, 2 – электроды

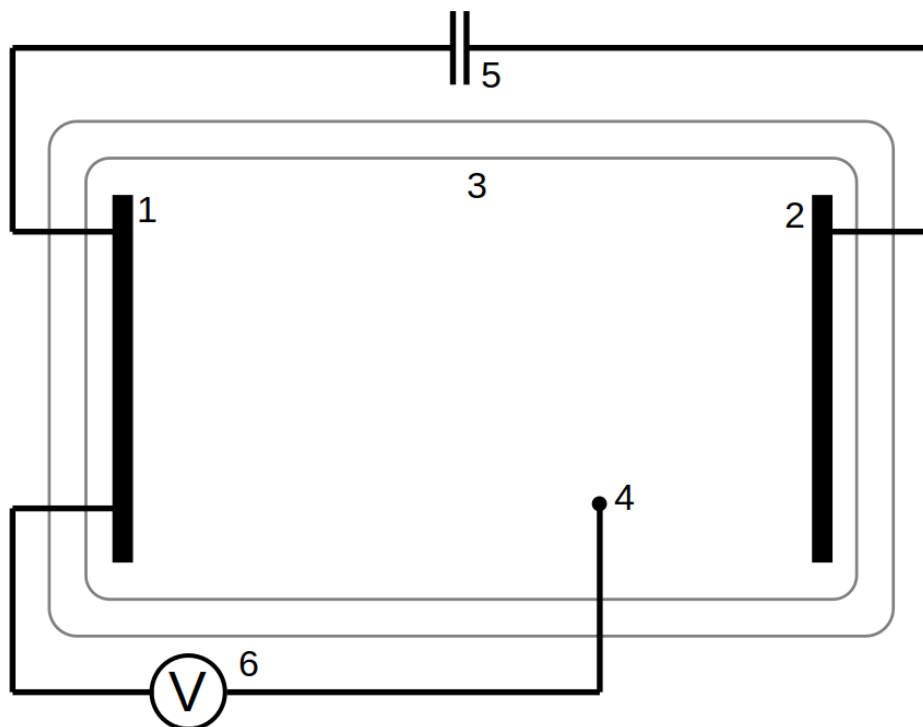
3 – электролитическая

ванна

4 – зонд

5.– генератор
переменного напряжения

6.– вольтметр



Рабочие формулы и исходные данные.

$$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}} \quad \text{Приближение напряжённости локально постоянного поля}$$

$$\sigma' \cong -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell_n} \quad \text{Приближение поверхностной плотности заряда на электроде}$$

Обработка результатов измерений.

Задание 3.

Рассчитаем величину напряжённости в центре электролитической ванны, исходя из формулы

$$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}},$$

предполагающей, что поле напряжённости примерно постоянное и что точки 1 и 2 лежат на одной и той же силовой линии напряжённости.

В качестве одной из точек было бы удобно взять ту, где потенциал принят за точно нулевой, т.е. середину левого электрода, но его X-координата неизвестна. Поэтому возьмём две точки, в которых делалось измерение потенциала. В качестве точки 1 возьмём ту, где потенциал больше, чтобы получить корректный знак: напряжённость направлена влево.

$$\begin{array}{lll} X_1 = 16.6 \text{ см} & X_2 = 2.6 \text{ см} & Y_1 = Y_2 = 10 \text{ см} \\ \varphi_1 = 7.55 \text{ В} & \varphi_2 = 1.55 \text{ В} & \end{array}$$

Поскольку точки 1 и 2 лежат на прямой, проводимой между центрами электродов, есть основания полагать, что именно здесь линия напряжённости между ними прямая: $Y_1 = 10 \text{ см}$. Поэтому применим формулу:

$$\langle E \rangle = 6 \text{ В} / 14 \text{ см} = 42.85 \text{ В/м}$$

Относительная погрешность измерения напряжения $\delta(\varphi_1 - \varphi_2) = 0.16\%$.

Относительная погрешность измерения расстояния $\delta l = 0.71\%$

Следовательно,

$$\underline{E_{\text{центр}} = (42.8 \pm 0.3) \text{ В/м}}$$

Рассчитаем теперь величину напряжённости ближе к левому электроду тем же методом.

$$X_1 = 7.1 \text{ см} \quad X_2 = 2.6 \text{ см} \quad Y_1 = Y_2 = 10 \text{ см}$$

$$\varphi_1 = 3.55 \text{ В} \quad \varphi_2 = 1.55 \text{ В}$$

$$\langle E \rangle = 2 \text{ В} / 4.5 \text{ см} = 44.4 \text{ В/м}$$

Относительная погрешность измерения напряжения $\delta(\varphi_1 - \varphi_2) = 0.5\%$

Относительная погрешность измерения расстояния $\delta l = 2.2\%$

Следовательно,

$$E_{\text{электрод}} = (44.4 \pm 1.2) \text{ В/м}$$

Видим, что, хотя значения напряжённости близки, интервалы возможных значений не пересекаются. Это можно объяснить размерами конденсатора: длина электродов даже существенно меньше, чем расстояние между ними, и электрическое поле внутри такого конденсатора нельзя считать постоянным даже по его центральной линии. Вблизи электродов оно немного сильнее. Похожий вывод можно сделать качественно по диаграмме силовых линий на миллиметровой бумаге.

Оценим также поверхностную плотность заряда на электродах:

$$\sigma' = -\epsilon_0 \Delta\varphi / \Delta l = -\epsilon_0 E_{\text{электрод}} = -8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 44.4 \text{ В/м} = 3.93 \text{ Кл/м}^2$$

с такой же относительной погрешностью, что у $E_{\text{электрод}}$, т.е. 2.7%. Следовательно,

$$\sigma' = (3.93 \pm 0.01) \text{ Кл/м}^2$$

Задание 4.

Найдём зоны с максимальным и минимальным модулем напряжённости по рисунку на миллиметровой бумаге.

Области максимальной напряжённости находятся возле внешних краёв кольца, ближайших к соответствующим электродам: левому и правому, около точек ($X_1 = 8 \text{ см}$, $Y_1 = 10 \text{ см}$) и ($X_2 = 22 \text{ см}$, $Y_2 = 10 \text{ см}$). Там линии напряжённости проходят наиболее плотно. Это объясняется тем, что свободные заряды в кольце под действием поля напряжённости, направленного справа налево, стремясь его скомпенсировать, распределились по левому (положительные) и правому (отрицательные) краям, в то время как оставаться вверху и внизу для зарядов нет причин.

Как раз выше и ниже кольца, около точек ($X_3 = 15 \text{ см}$, $Y_1 = 3 \text{ см}$) и ($X_4 = 15 \text{ см}$, $Y_1 = 17 \text{ см}$) поле напряженности слабее всего: там будут минимумы.

Оценим напряжённость в окрестности точки 1 методом, аналогичным заданию 3, считая поле в окрестности точки локально близким к постоянному. Возьмём ближайшие точки, в которых проводились измерения потенциала:

$$X_{11} = 8.2 \text{ см} \quad X_{12} = 7.0 \text{ см} \quad Y_{11} = Y_{12} = 10 \text{ см}$$

$$\varphi_{11} = 5.95 \text{ В} \quad \varphi_{12} = 4.95 \text{ В}$$

$$\langle E \rangle = 1 \text{ В} / 1.2 \text{ см} = 83.3 \text{ В/м}$$

$$\delta(\varphi_{11} - \varphi_{12}) = 1\%, \delta l = 8.3\%$$

$$E_{\max} = (83 \pm 7.7) \text{ В/м}$$

Оценим напряжённость в окрестности точки 3.

$$X_{31} = 15.0 \text{ см} \quad X_{32} = 11.0 \text{ см} \quad Y_{31} = Y_{32} = 2 \text{ см}$$

$$\varphi_{31} = 6.95 \text{ В} \quad \varphi_{32} = 5.95 \text{ В}$$

$$\langle E \rangle = 1 \text{ В} / 4.0 \text{ см} = 25.0 \text{ В/м}$$

$$\delta(\varphi_{31} - \varphi_{32}) = 1\%, \delta l = 2.5\%$$

$$E_{\min} = (25.0 \pm 0.9) \text{ В/м}$$

Задание 5.

Графики зависимости $\varphi = \varphi(X)$ потенциала от координаты при $Y=10 \text{ см}$. Сами графики представлены в приложении.

График 1. $\varphi = \varphi(X)$ для пустой электролитической ванны

Зависимость действительно близка к линейной. Краевые условия действительно проявляются меньше всего при $Y=10 \text{ см}$, так как эта прямая соединяет середины электродов. Но ранее мы уже установили, что и тут есть отклонение вне пределов погрешности измерений.

График 2. $\varphi = \varphi(X)$ для электролитической ванны с проводящим кольцом

Там, где лежит кольцо (от $X=10 \text{ см}$ до $X=20 \text{ см}$), потенциал практически постоянный, как и следует из законов о распределении свободных зарядов. Потенциал одинаковый на всём кольце (6.97 В) и одинаковый в воде внутри кольца (6.88 В). В теории или идеальных условиях и эти два значения бы совпали.

Вне кольца рост потенциала нелинейный. Как мы уже замечали, он быстрее всего возле границ кольца, что соотносится с максимальным модулем напряжённости.

График 3. Графики 1 и 2 вместе.

Если наложить графики друг на друга, можно заметить, что сильно меняется зависимость потенциала от координат внутри ванны, но не потенциалы на электродах (0 В и 14 В соответственно). Более того, интеграл потенциала также не меняется: с проводником ускоренный рост вне кольца компенсируется плато внутри кольца. Действительно, поскольку настройки генератора не менялись, энергия поля также не должна была измениться.

Выводы.

Построенные по экспериментальным данным сечения эквипотенциальных линий и силовые линии совпадают с теми, которые должны быть у такой системы в теории. В отсутствие проводника система действительно похожа на плоский конденсатор, а с проводником – многие силовые линии действительно начинаются и заканчиваются на его поверхности.

Косвенно измерена напряжённость поля в разных точках и конфигурациях. Это позволило судить об отклонении от модели плоского конденсатора и о глобальных минимумах и максимумах напряжённости в присутствии проводника.

Полученная экспериментально зависимость потенциала от координат в целом совпадает с теоретической (см. комментарии к графикам).

Приложение.

График 1. $\varphi=\varphi(X)$ для пустой электролитической ванны

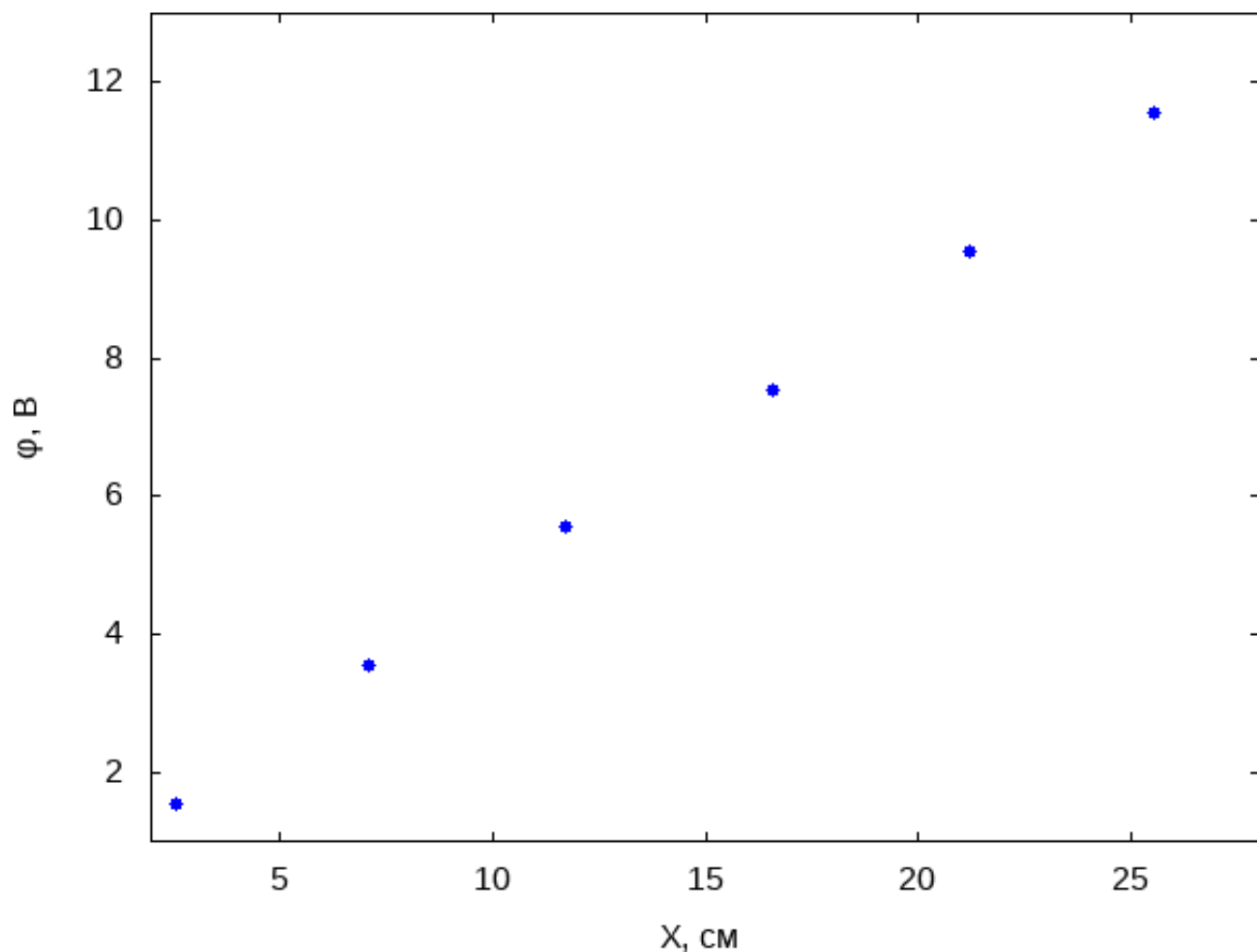


График 2. $\varphi=\varphi(X)$ для электролитической ванны с проводящим кольцом

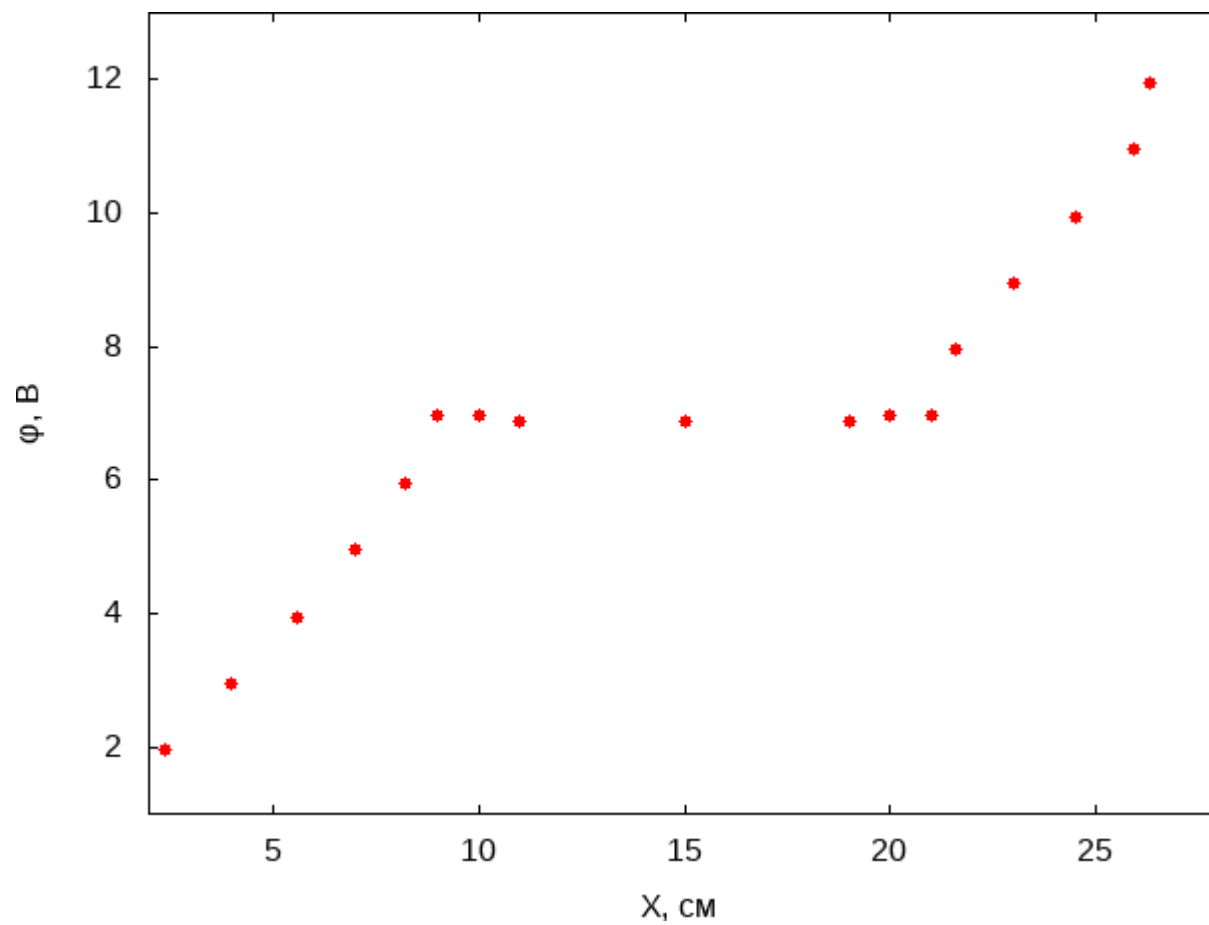


График 3. Графики 1 и 2 вместе.

