



ЛР №3.01 — Изучение электростатического поля методом моделирования

выполнили: студенты группы М3205 Ващенко Алексей, Белунин Дмитрий, Патолицына Анастасия

преподаватель: Хуснутдинова Наира Рустемовна

Цель работы

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

Задачи

1. Измерение распределения потенциала в модели плоского конденсатора
2. Измерение распределения потенциала при наличии проводящего тела

Описание установки

Экспериментальная установка

Приборы и принадлежности, используемые в лабораторной работе, показаны на рис. 4. На боковых стенках электролитической ванны расположены плоские металлические электроды, подключенные к многофункциональному генератору напряжения ГН1. Между электродами находится измерительный зонд в виде тонкого изолированного проводника, подсоединенного к вольтметру. Вольтметр в составе комбинированного прибора АВ1 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. В ванну может быть помещено проводящее тело в форме кольца.

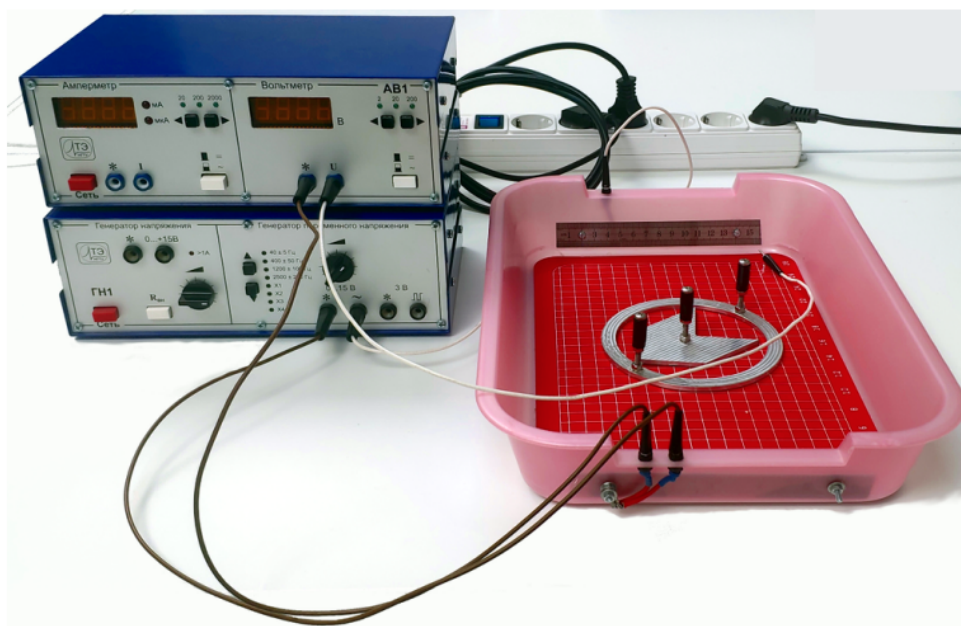


Рис. 4. Общий вид лабораторной установки.

Используемая теория

1. $[E_{12}] \simeq \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$, φ_1 и φ_2 - потенциалы точек на на одной силовой линии
2. Поверхностная плотность электрического заряда на электродах: $\sigma' \simeq -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n}$
3. $\varepsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$
- 4.

Формула для расчета погрешности напряженности

$$\Delta E_{12} = \sqrt{\left(\frac{1}{\ell_{12}} \cdot \frac{2}{3} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{1}{\ell_{12}} \cdot \frac{2}{3} \Delta\varphi\right)^2 + \left((\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \frac{1}{\ell_{12}^2} \cdot \frac{2}{3} \Delta\ell_{12}\right)^2} \quad (3)$$

где ℓ_{12} — длина участка силовой линии между точками.

1. Погрешность косвенного значения: $\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2}$
2. Относительная погрешность: $\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$

Результаты

1. На обоих листах с отмеченными точками мы провели эквипотенциальные линии, соединив точки с равным потенциалом плавными линиями (зеленые)
2. Используя *свойство ортогональности линий напряжённости* и эквипотенциальных линий в плоскости OXY , мы нарисовали на обеих листах систему силовых линий поля с указанием их направления (синие)
 - В модели плоского конденсатора силовые линии идут от одного электрода до другого (рис.1)
 - При наличии в электролитической ванне проводящего тела значительная доля силовых линий начинается и заканчивается на его поверхности (рис.2)

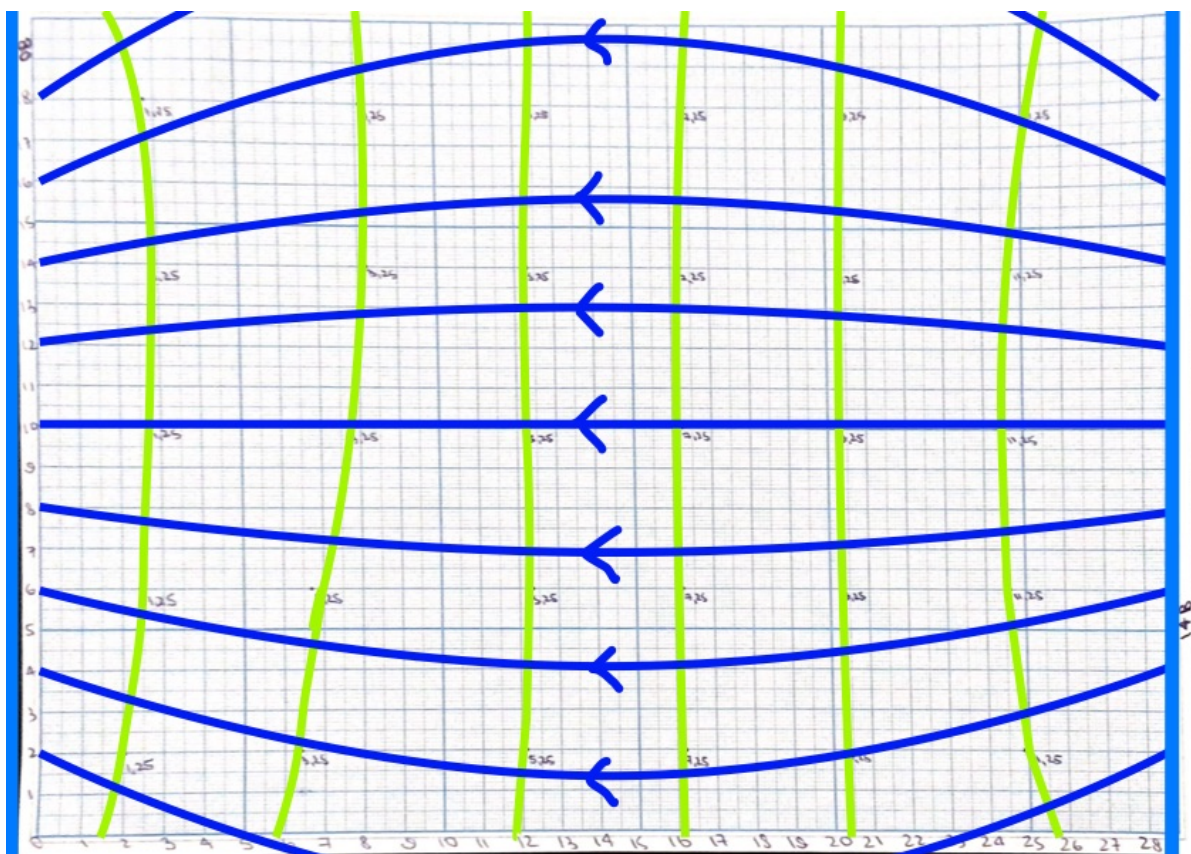


Рис.1. Срезы эквипотенциальных поверхностей и силовые линии модели, имитирующей плоский конденсатор

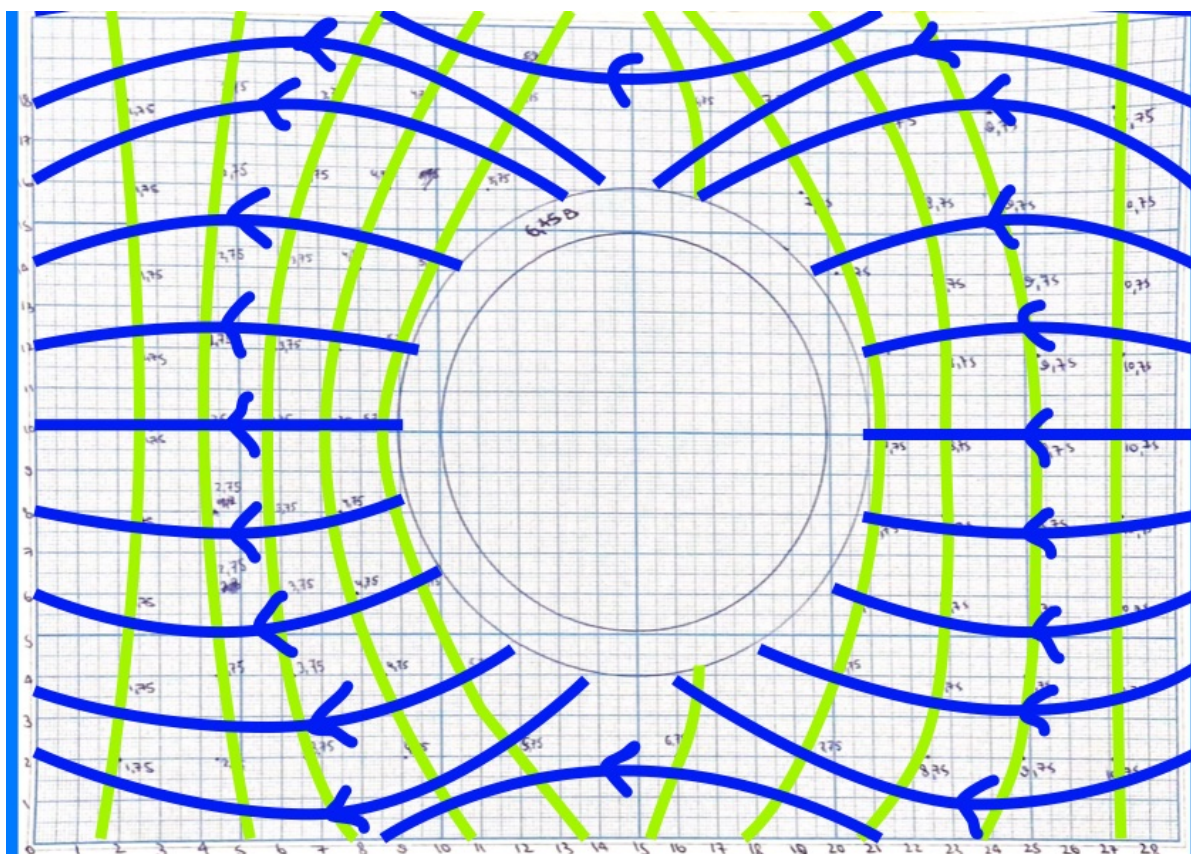


Рис.2. Срезы эквипотенциальных поверхностей и силовые линии модели, имитирующей электростатическое поле с помещенным по центру кольцевым проводником.

3. Величину напряженности в центре электролитической ванны и в окрестности одного из электродов для модели плоского конденсатора:

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{7,25 - 5,25}{0,039} = 51,28 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\langle E_+ \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{14 - 11,25}{0,04} = 68,75 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем погрешности:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{1}{0,039} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\right)^2 + \left(\frac{1}{0,039} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{1}{0,039^2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,039\right)^2} \approx 59,215$$

Рассчитаем поверхностную плотность электрического заряда на электродах:

$$\sigma' \simeq -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{2}{0,04} = 4,425 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$$

4. Для конфигурации поля при наличии проводящего кольца нашли на построении области с минимальной E_{min} и максимальной E_{max} напряженностью:

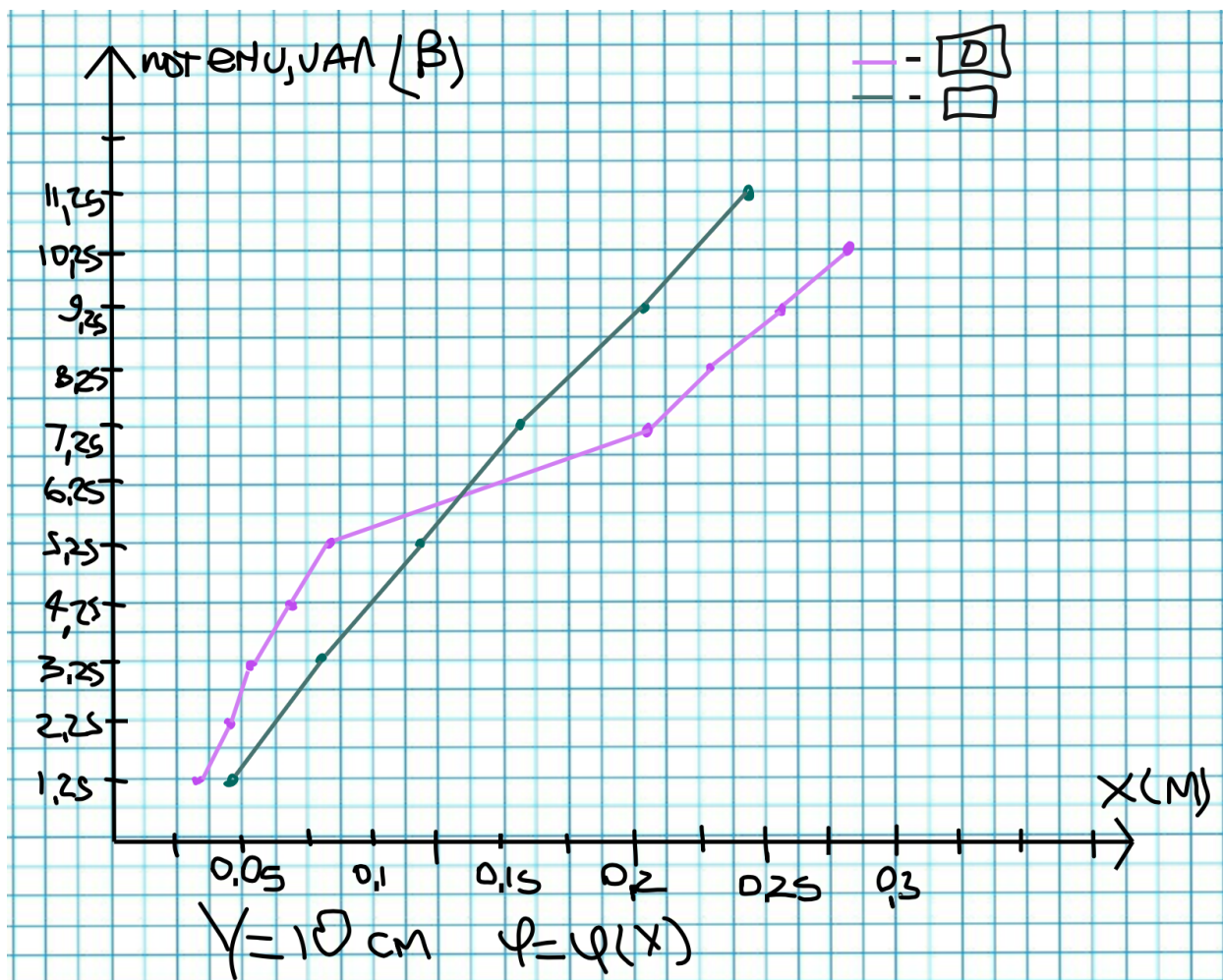
$$\langle E_{max} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{1}{0,085 - 0,072} = 71,42 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\langle E_{min} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{1}{0,041 - 0,026} = 66,67 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\langle E_{max} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{1}{0,23 - 0,214} = 62,5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\langle E_{min} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}} = \frac{1}{0,274 - 0,254} = 50 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

5. По экспериментальным данным построим графики зависимостей $\varphi = \varphi(X)$ потенциала от координаты для двух исследованных конфигураций поля для «горизонталей» $Y = 10$ см



Выводы

1. Анализ данных и составление графика зависимости потенциала от горизонтальной координаты, именуемого "главной горизонталью".

На основе этих действий можно сказать:

- В конфигурации с кольцевым проводником выявлены области с максимальной напряжённостью поля около проводника и минимальной — между электродами и проводником.
- Внутри кольца проводника значение напряжённости поля было постоянным.

- Графики зависимости потенциала от координат подтвердили ожидаемое поведение: измерения соответствовали теоретическим предположениям, подтверждая точность проведённого эксперимента.
- Для плоского конденсатора график зависимости потенциала от координат был линейным.
- В конфигурации с проводником график между электродом и кольцом также оказался линейным, в то время как внутри кольца потенциал оставался стабильным.

Эти наблюдения позволили подтвердить стабильность электрического поля в исследуемых конфигурациях и точность экспериментального метода.

1. Вычисление величин напряжённости поля в центральной точке, около электродов и вблизи проводящего кольца.
2. Построение эквипотенциальных поверхностей и линий поля для каждого случая.
3. Моделирование двух конфигураций электростатического поля: плоского конденсатора и поля вокруг проводящего кольца.