

Группа	ФИЗ-2 Э БИТ 1.1.1	К работе допущены	
Студенты	Бардышев Артём	Работа выполнена	
	Машин Егор		
	Суханкулиев Мухаммет		
	Шегай Станислав		
Преподаватель		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. Распределить потенциал в модели плоского конденсатора.
2. Распределить потенциал при наличии проводящего тела.

#### 3. Объект исследования.

Электростатическое поле.

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Моделирование электростатического поля путем измерения и анализа распределения потенциала в слабопроводящей среде.

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Средняя напряженность между двумя точками:

$$\langle E_{12} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$$

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

2. Поверхностная плотность зарядов:

$$\sigma' = \varepsilon_0 E_n$$

где  $\varepsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная,  $E_n$  – проекция вектора напряженности на направление внешней нормали к поверхности электрода. С учетом формулы (5.1) получаем:

$$\sigma' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n}$$

где  $\Delta\varphi$  – изменение потенциала при смещении на малое расстояние  $\Delta l_n$  по нормали к поверхности проводника.

3. Погрешность косвенного значения:

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} x_2\right)^2}, \quad z = f(x_1, x_2)$$

4. Относительная погрешность:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_x}{\bar{x}} 100\%$$

## 6. Измерительные приборы.

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование</i>	<i>Тип прибора</i>	<i>Используемый диапазон</i>	<i>Погрешность прибора</i>
<b>1</b>	Генератор напряжения ГН1	Генератор	0–400 Гц	50 Гц
<b>2</b>	Вольтметр	Электроизмерительный	0–14 В	0.1 В
<b>3</b>	Линейка	По оси X	2–28 см	0.1 см
<b>4</b>	Линейка	По оси Y	2–18 см	0.05 см

## 7. Схема установки.

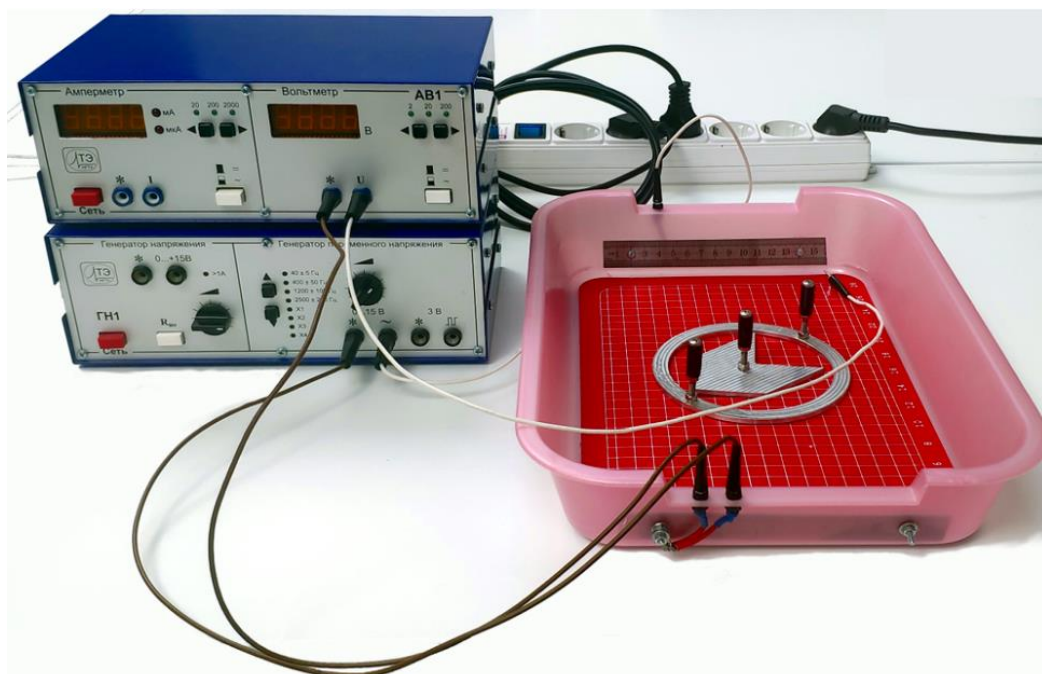


Рисунок 1 – Общий вид установки.

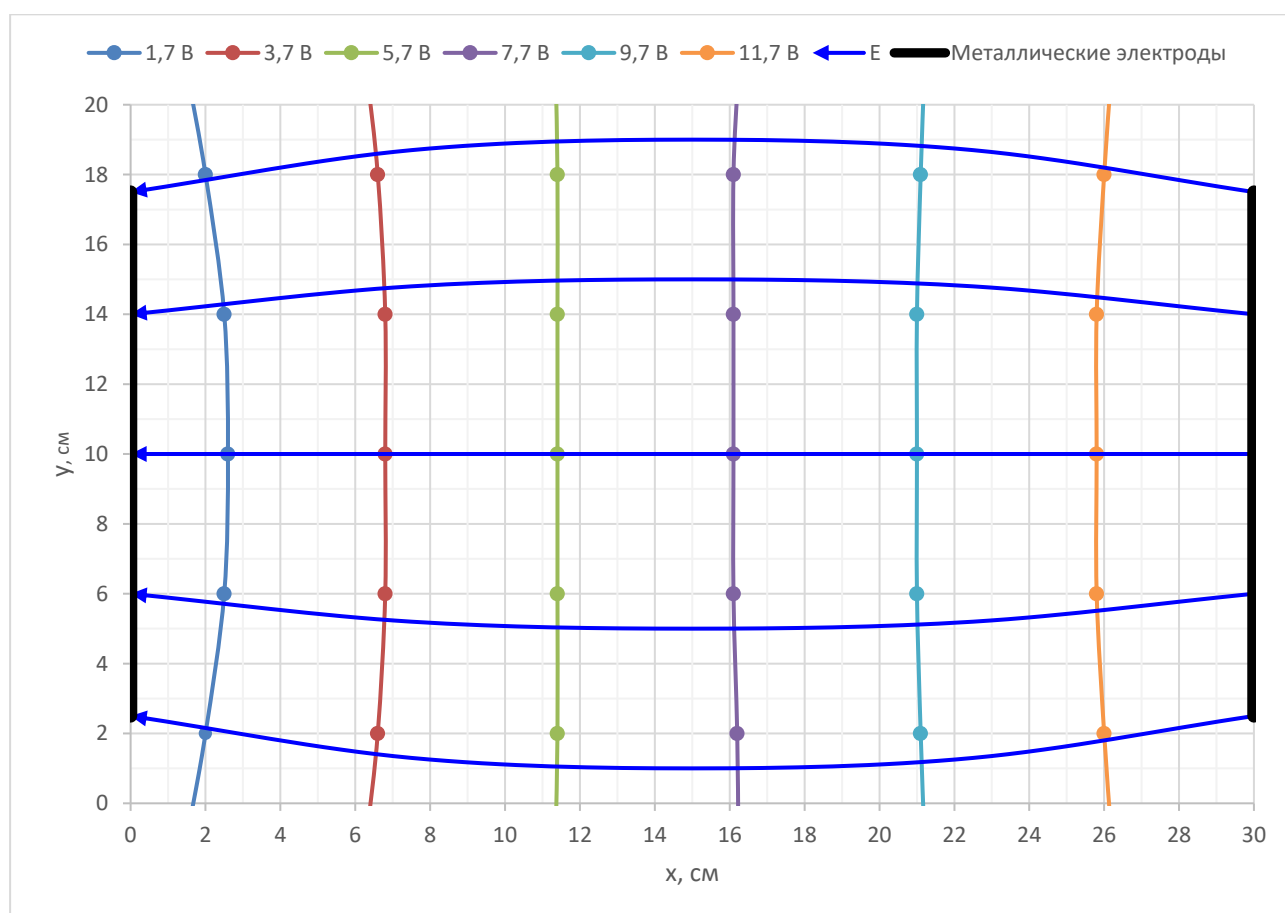
На боковых стенках электролитической ванны расположены плоские металлические электроды, подключенные к многофункциональному генератору напряжения **ГН1**. Между электродами находится измерительный зонд в виде тонкого изолированного проводника, подсоединенного к вольтметру. Вольтметр в составе комбинированного прибора **AB1**

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.

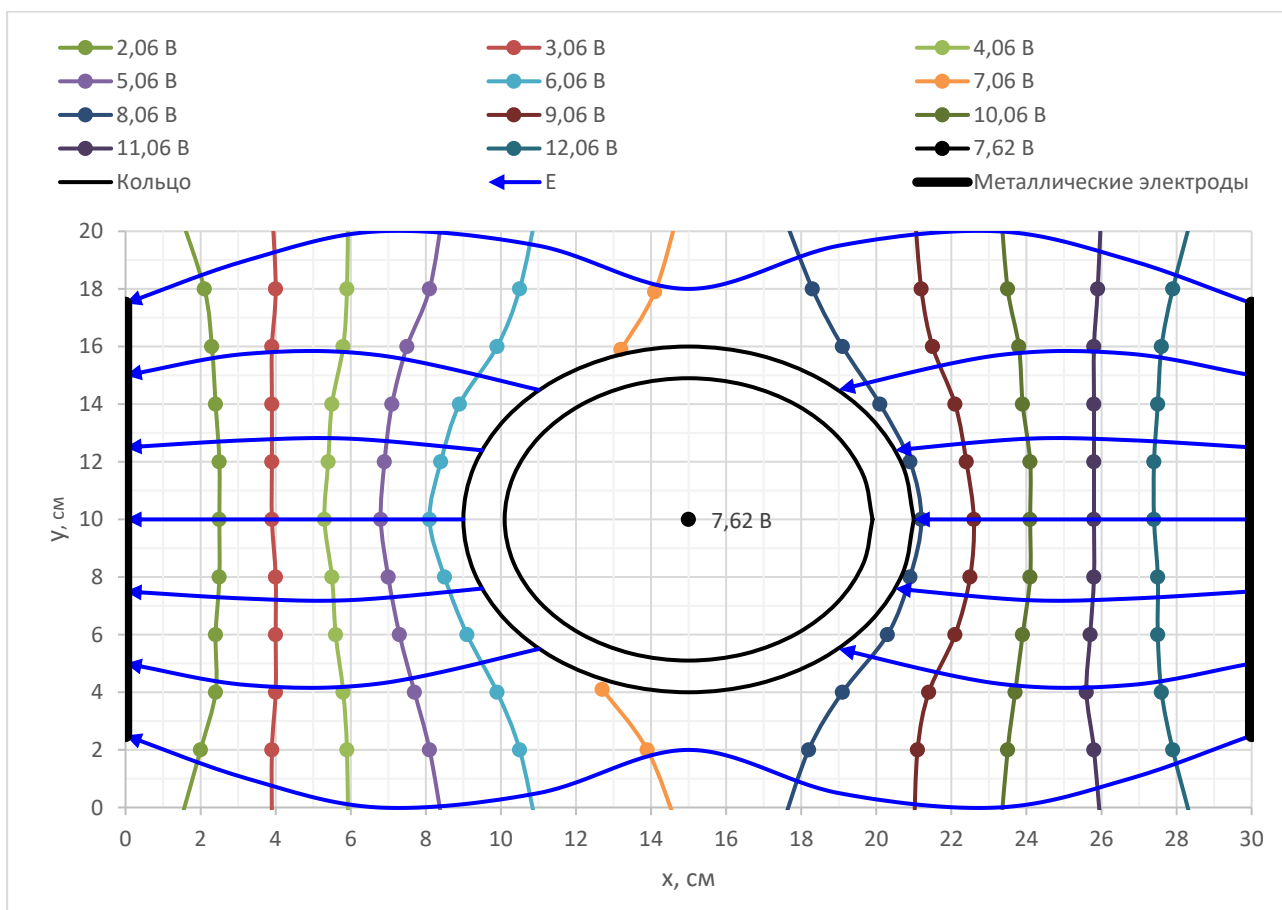
## 8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Мы провели измерения и по их результатам построили графики эквипотенциальных линий для случая без металлического проводника (кольца) (график 1) и с ним (график 2). Также на графиках мы построили силовые линии – они всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям и направлены в сторону убывания потенциала.

**График 1 – Распределение потенциала в модели плоского конденсатора**



**График 2 – Распределение потенциала при наличии проводящего тела**



## 9. Расчет результатов косвенных измерений.

Для модели плоского конденсатора:

Расчет напряженности в центре электролитической ванны (1):

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle \approx \frac{-2}{0.16 - 0.11} \approx -42.55 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Напряженность в окрестности одного из электродов:

$$\langle E_- \rangle \approx \frac{-2}{0.07 - 0.03} \approx -47.62 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах (2):

$$\sigma_+' \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{2}{0.26 - 0.21} \approx 3.69 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma_-' = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot (-47.62) \approx -4.21 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

**При наличии проводящего кольца:**

Чтобы найти области с минимальной и максимальной напряженностью построим таблицу (теоретически, на отрезках, где эквипотенциальные линии расположены ближе друг к другу, напряженность выше):

	<b>Результаты вычислений, В/см</b>									
<b>Отрезки→ Оу, см ↓</b>	2,06 В- 3,06 В	3,06 В- 4,06 В	4,06 В- 5,06 В	5,06 В- 6,06 В	6,06 В- 7,06 В	7,06 В- 8,06 В	8,06 В- 9,06 В	9,06 В- 10,06 В	10,06 В- 11,06 В	11,06 В- 12,06 В
<b>2</b>	-0,53	-0,50	-0,45	-0,42	-0,29	-0,23	-0,34	-0,42	-0,43	-0,48
<b>4</b>	-0,63	-0,56	-0,53	-0,45	-0,37	-0,15	-0,43	-0,43	-0,53	-0,50
<b>6</b>	-0,63	-0,63	-0,59	-0,56	-	-	-0,56	-0,56	-0,56	-0,56
<b>8</b>	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-	-	-0,62	-0,62	-0,59	-0,59
<b>10</b>	-0,71	-0,71	-0,67	-0,77	-	-	-0,71	-0,67	-0,59	-0,63
<b>12</b>	-0,71	-0,67	-0,67	-0,67	-	-	-0,67	-0,59	-0,59	-0,63
<b>14</b>	-0,67	-0,63	-0,63	-0,56	-	-	-0,50	-0,56	-0,53	-0,59
<b>16</b>	-0,63	-0,53	-0,59	-0,42	-0,31	-0,17	-0,42	-0,43	-0,50	-0,56
<b>18</b>	-0,53	-0,53	-0,45	-0,42	-0,28	-0,24	-0,34	-0,43	-0,42	-0,50

Исходя из результатов вычислений напряженности можно сделать вывод, что области с **наименьшей напряженностью  $E_{min}$**  находятся рядом с электродами (см. отрезки 3.06–5.06 и 9.06–11.06), а области с **наибольшей напряженностью  $E_{max}$**  находятся рядом с проводящим кольцом (см. отрезки 5.06–6.06 и 8.06–9.06).

## 10. Расчет погрешностей измерений.

Для модели плоского конденсатора:

Погрешность косвенного измерения (3, 4):

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta \varphi} = \frac{1}{l}, \quad \frac{\partial E}{\partial \Delta l} = -\frac{\Delta \varphi}{l^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E = \sqrt{\left(\frac{1}{l} \Delta \varphi\right)^2 + \left(-\frac{\Delta \varphi}{l^2} \Delta l\right)^2}$$

$$\Delta E_{\text{центр}} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.16 - 0.11} \cdot 0.1\right)^2 + \left(-\frac{2}{(0.16 - 0.11)^2} \cdot 0.001\right)^2} \approx 2.31 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{\text{центр}}} = \frac{2.31228}{42.5532} \cdot 100\% \approx 5.434\%$$

$$\Delta E_{-} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.07 - 0.03} \cdot 0.1\right)^2 + \left(-\frac{2}{(0.07 - 0.03)^2} \cdot 0.001\right)^2} \approx 2.64 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{-}} = \frac{2.64}{47.62} \cdot 100\% \approx 5.54\%$$

$$\frac{\partial \sigma'}{\partial \Delta \varphi} = \frac{\varepsilon_0}{\Delta l_n}, \quad \frac{\partial \sigma'}{\partial \Delta l_n} = -\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{\Delta l_n^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta \sigma' = \varepsilon_0 \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta l_n} \Delta \varphi\right)^2 + \left(-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l_n^2} \Delta l\right)^2}$$

$$\Delta \sigma'_+ = 8.85 \cdot 10^{-12} \sqrt{\left(\frac{1}{0.26 - 0.21} \cdot 0.1\right)^2 + \left(-\frac{2}{(0.26 - 0.21)^2} \cdot 0.001\right)^2} \approx 2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

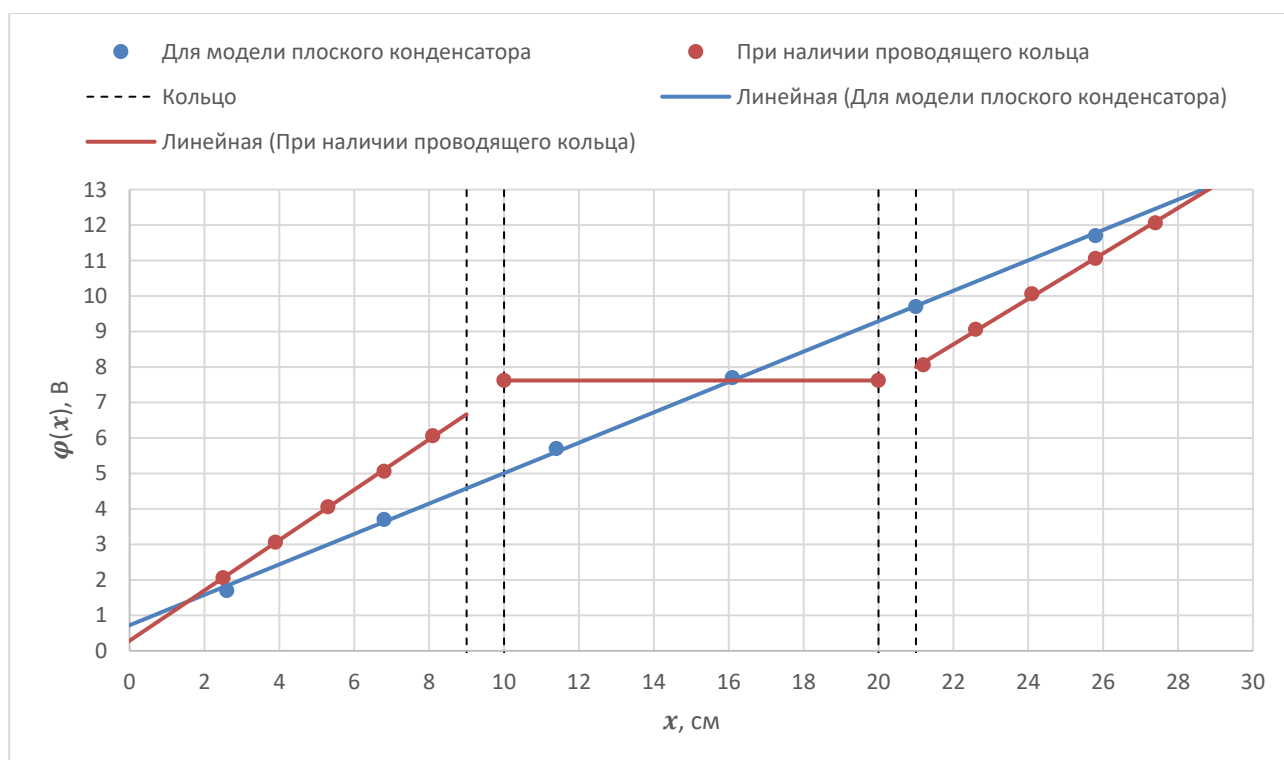
$$\varepsilon_{\sigma_+'} = \frac{2 \cdot 10^{-11}}{3.69 \cdot 10^{-10}} \cdot 100\% \approx 5.42\%$$

Используя погрешность для напряженности  $\Delta E_-$ , погрешность поверхностной плотности можно рассчитать так:

$$\Delta \sigma_- = \varepsilon_0 \Delta E_- \approx 2.33 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\varepsilon_{\sigma_-'} = \frac{2.33 \cdot 10^{-11}}{4.21 \cdot 10^{-10}} \cdot 100\% \approx 5.54\%$$

**График 3 – зависимость  $\varphi = \varphi(x)$  потенциала от координаты для двух исследованных конфигураций поля для «горизонтالي»  $y = 10$  см.**



## 11. Окончательные результаты.

Для модели плоского конденсатора:

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle \approx (-42.55 \pm 2.31) \frac{\text{В}}{\text{м}}, \quad \varepsilon_{E_{\text{центр}}} \approx 5.43\%$$

$$\langle E_- \rangle \approx (-47.62 \pm 2.64) \frac{\text{В}}{\text{м}}, \quad \varepsilon_{E_-} \approx 5.54\%$$

$$\sigma_+' \approx (3.69 \cdot 10^{-10} \pm 0.2 \cdot 10^{-10}) \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}, \quad \varepsilon_{\sigma_+'} \approx 5.42\%$$

$$\sigma_- ' \approx (-4.21 \cdot 10^{-10} \pm 0.23 \cdot 10^{-10}) \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}, \quad \varepsilon_{\sigma_-'} \approx 5.54\%$$

При наличии проводящего кольца:

Из графика (3) можем заметить, что на отрезке внутри кольца потенциал не меняется, т. е. разность равна нулю.

## 12. Выводы и анализ результатов работы.

Из формулы  $E = -\nabla\varphi \Rightarrow$  напряженность электростатического поля является градиентом распределения потенциала. В ходе эксперимента подтверждено, что в областях с быстрым изменением потенциала, как рядом с проводящим кольцом (при  $y=10$ ), напряженность максимальна, а вверху и внизу кольца — минимальна, что соответствует теоретическим ожиданиям. Проведенные расчеты с учетом погрешностей подтверждают корректность полученных результатов.

Это значит что данный экспериментальный метод моделирования электростатических полей в слабопроводящей среде достаточно точен и мы справились с лабораторной работой.

## 13. Замечания преподавателя.

Исправлены графики 1, 2 (добавлены электроды и были продолжены кривые эквипотенциалов).

В расчете погрешностей (10) были добавлены физические величины и выполнено округление до двух знаков после запятой (где возможно).

Так же исправлен график 3 – при наличии проводящего кольца построены линейные графики на основе точек, теперь четко видно, что внутри кольца значение потенциала постоянно.

И в выводах (12) была добавлена связь лабораторной работы с теоретической моделью, подчеркивая, что напряженность электрического поля определяется градиентом потенциала, как показано в эксперименте.

### Список использованных источников

1. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 5 т. Том 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие для вузов / И. В. Савельев. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 344 с. — ISBN 978-5-8114-9248-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/189298>
2. [Lab\\_3\\_01A.pdf \(itmo.ru\)](#)
3. Физика. Обработка экспериментальных данных: Учебно-методическое пособие: Для студ. 1,2 и 3-го курсов всех спец. и направлений очной и заочной форм обучения/ В.В. Курепин, И.В. Баранов. - СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012.- 56 с.