

Группа М3205

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Аврора Степанюк, Виктория  
Тросько

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Хвастунов Н.Н.

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.

- построить рисунок эквипотенциальных поверхностей в модели плоского конденсатора и при наличии проводящего тела
- построить линий напряженности на рисунках
- рассчитать значение напряженности в произвольных точках модели, оценить поверхностную плотность заряда на электроде

### 3. Объект исследования.

Модель, представляющая из себя электролитическую ванну с плоскими электродами и измерительным зондом в виде тонкого изолированного проводника на дне ванны

### 4. Метод экспериментального исследования.

Многократное прямое измерение разности потенциалов между зондом и одним из электродов

### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$\langle E_{1,2} \rangle = \frac{\phi_1 - \phi_2}{l_{1,2}}$  – средняя напряженность между точками, где  $\phi_1$  и  $\phi_2$  – потенциалы двух точек, лежащих на одной силовой линии,  $l_{1,2}$  – длина участка силовой линии между точками

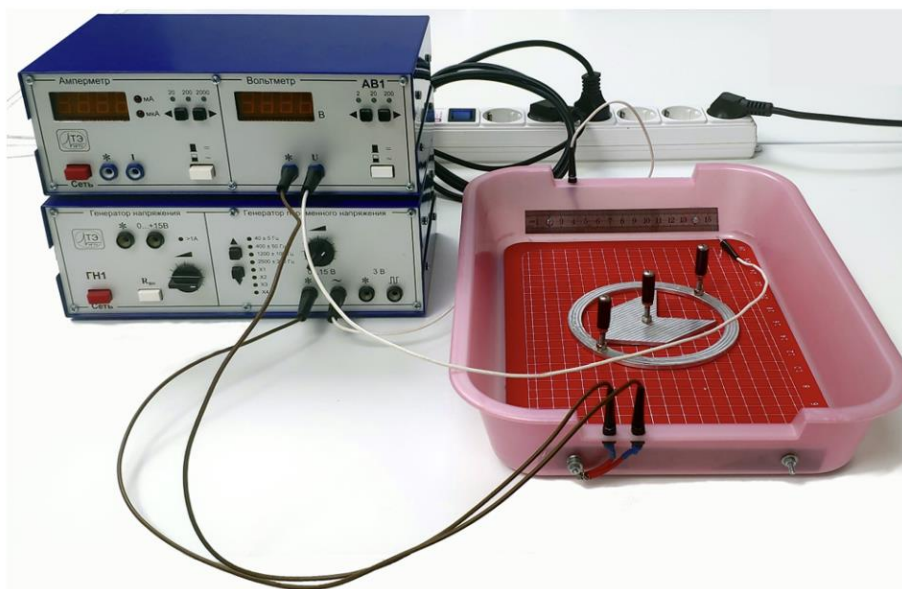
$\sigma' = -\epsilon_0 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta l_n}$  – поверхностная плотность зарядов, где  $\Delta\phi$  – изменение потенциала при смещении на малое расстояние  $\Delta l_n$  по нормали к поверхности проводника,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$

### 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Линейная шкала	Механический	0,5– 28,0 см	0,1 см

2	Вольтметр	электронный	0,0– 12,0 В	0,1 В
---	-----------	-------------	-------------	-------

## 7. Схема установки.



Приборы и принадлежности, используемые в лабораторной работе, показаны на рис. 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. В ванну может быть помещено проводящее тело в форме кольца.

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки.

**Таблица 1:** Результаты измерения положения точек эквипотенциальных поверхностей для модели плоского конденсатора

$U, В$	$x, см$	$y, см$
2,4	2	2
	2,4	6
	2,7	10
	2,5	14
	2,1	18
4,4	5,8	2
	5,7	6
	5,7	10
	5,8	14
	5,8	18
6,4	9,1	2
	9,1	6
	9,2	10
	9,1	14
	9	18
8,4	12,8	2
	12,9	6
	12,9	10

	12,9	14
	12,8	18
10,4	16,3	2
	16,3	6
	16,4	10
	16,3	14
	16,3	18
12,4	20	2
	19,9	6
	19,9	10
	19,9	14
	20	18
14,4	22,3	2
	22,2	6
	22,1	10
	22,3	14
	22,3	18
16,4	26,8	2
	26,3	6
	26,2	10
	26,3	14
	26,8	18

**Таблица 2:** Результаты измерения положения точек эквипотенциальных поверхностей при наличии проводящего кольца

$U, B$	$x, \text{см}$	$y, \text{см}$
3,1	2	2
	2,2	4
	2,3	6
	2,3	8
	2,4	10
	2,4	12
	2,3	14
	2,2	16
	2,1	18
4,1	3,4	2
	3,5	4
	3,5	6
	3,5	8
	3,5	10
	3,6	12
	3,6	14
	3,5	16
	3,4	18
5,1	4,9	2
	4,8	4
	4,7	6
	4,6	8
	4,5	10
	4,7	12

	4,8	14
	4,9	16
	5	18
6,1	6,3	2
	6,2	4
	5,9	6
	5,6	8
	5,5	10
	5,6	12
	5,9	14
	6,2	16
	6,4	18
7,1	8,1	2
	7,8	4
	7,1	6
	6,9	8
	6,5	10
	6,8	12
	7,1	14
	7,8	16
	8,1	18
8,1	10	2
	9,3	4
	8,5	6
	7,9	8
	7,5	10
	7,8	12
	8,1	14
	9,1	16
	10	18
9,1	12,2	2
	11,4	4
	9,9	6
	8,9	8
	8,5	10
	8,6	12
	9,5	14
	11	16
	12,1	18
10,1	15,9	2
	16,8	4
	19,5	6
	20,5	8
	21	10
	20	12
	19,2	14
	18,2	16
	16	18
11,1	18,6	2
	19,6	4
	20,8	6
	21,3	8

	21,8	10
	21,5	12
	20,9	14
	19,7	16
	18,6	18
12,1	21,1	2
	21,6	4
	22,1	6
	22,5	8
	22,7	10
	22,5	12
	22	14
	21,5	16
	20,9	18
13,1	22,8	2
	23,1	4
	23,3	6
	23,5	8
	23,8	10
	23,5	12
	23,3	14
	22,9	16
	22,5	18
14,1	24,3	2
	24,4	4
	24,5	6
	24,6	8
	24,9	10
	24,8	12
	24,6	14
	24,3	16
	24	18
15,1	25,9	2
	25,9	4
	25,7	6
	25,9	8
	25,9	10
	25,9	12
	25,8	14
	25,8	16
	25,7	18
16,1	27,3	2
	27,1	4
	27	6
	27	8
	26,9	10
	26,9	12
	26,9	14
	26,9	16
	27	18

### 9. Расчет результатов косвенных измерений.

Рассчитаем величину напряженности для плоского конденсатора в центре электрической ванны и около одного из электродов по формуле (1).

Для расчётов выберем измерения по горизонтали, соответствующие  $y = 10\text{ см}$ .

$$E_{\text{центра}} \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{1,2}} = \frac{10,4 - 8,4}{16,4 - 12,9} = 0,57 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

$$E_{\text{границы}} \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{1,2}} = \frac{2}{26,2 - 22,1} = 0,49 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

Оценим поверхностную плотность заряда на электродах по формуле 2

$$\sigma'_1 \approx 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{2}{26,2 - 22,1} = 3,9 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Кл}}{\text{см}^2} = 3,9 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma'_2 \approx 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{2}{5,7 - 2,7} = 5,9 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Кл}}{\text{см}^2} = 5,9 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Найдем максимальную и минимальную напряженности в случае проводящего кольца, основываясь на общих соображениях и рисунке.

$$E_{\min} = E_{y=18\text{ см}}^{11,1-10,1\text{ В}} = \frac{11,1 - 10,1}{16 - 12,1} = 0,26 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

$$E_{\max} = E_{y=10\text{ см}}^{12,1-11,1\text{ В}} = \frac{12,1 - 11,1}{22,7 - 21,8} = 1,11 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

### 10. Расчет погрешностей измерений

$$\Delta E = \sqrt{2 \cdot \left( \frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left( \frac{\partial E}{\partial l} \Delta l \right)^2}$$

$$\Delta E_{\text{центра}} = 0,031 \text{ В}$$

$$\Delta E_{\text{границы}} = 0,037 \text{ В}$$

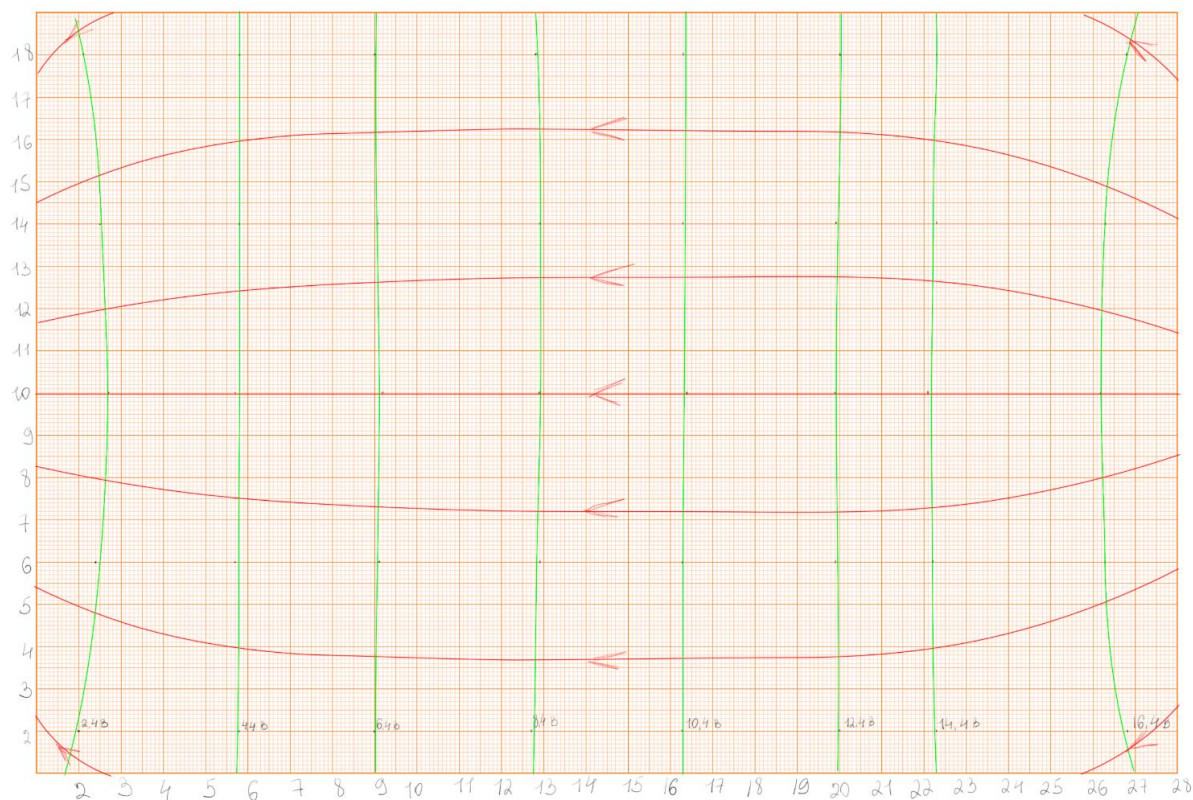
$$\Delta E_{\min} = 0,037 \text{ В}$$

$$\Delta E_{\max} = 0,19 \text{ В}$$

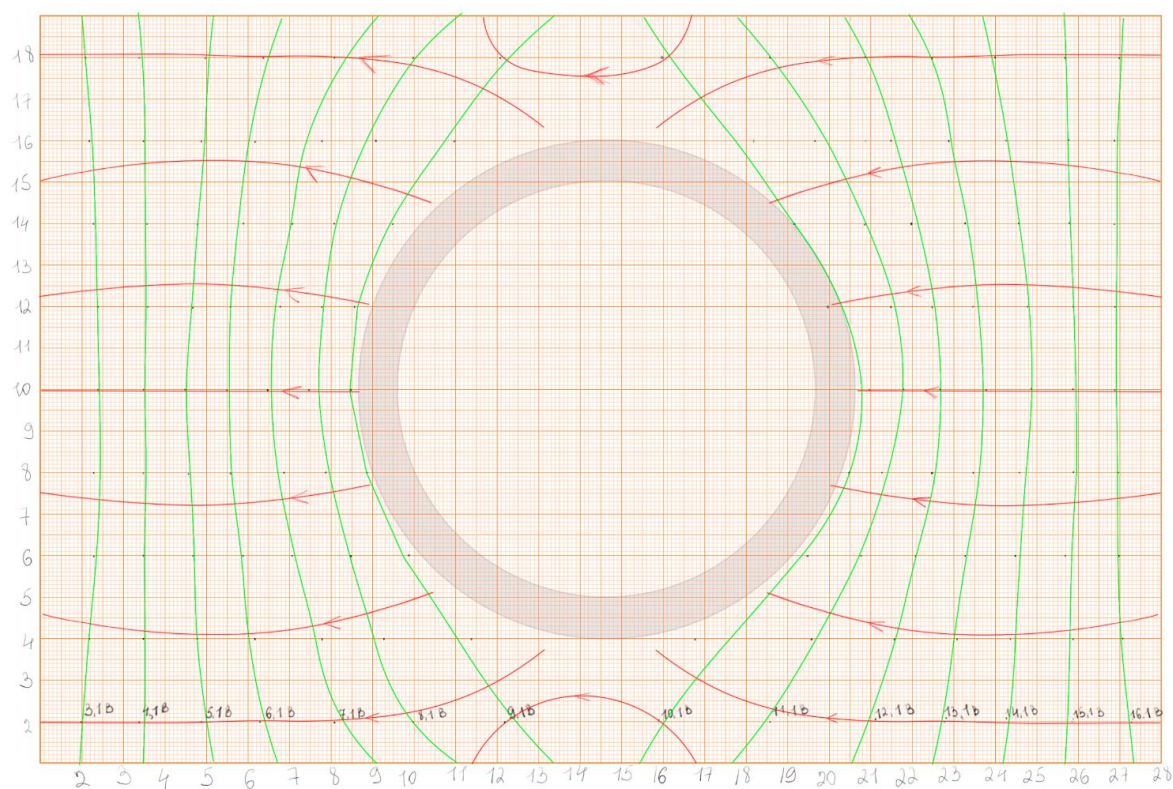


## 11. Графики

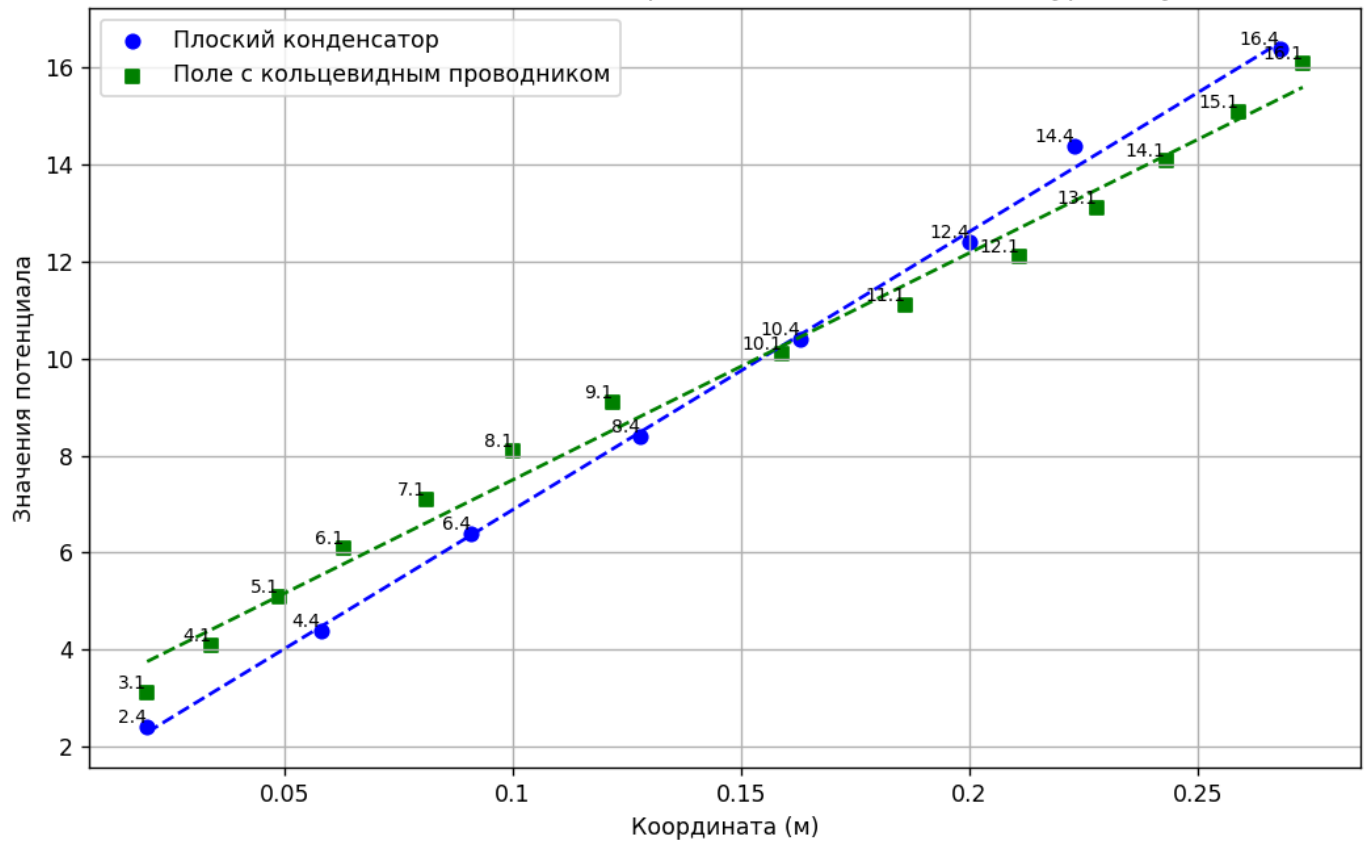
**График 1:** Схематическое изображение электрического поля в плоском конденсаторе. Красные – линии напряженности, Зеленые – сечения эквипотенциальных поверхностей плоскостью рисунка.



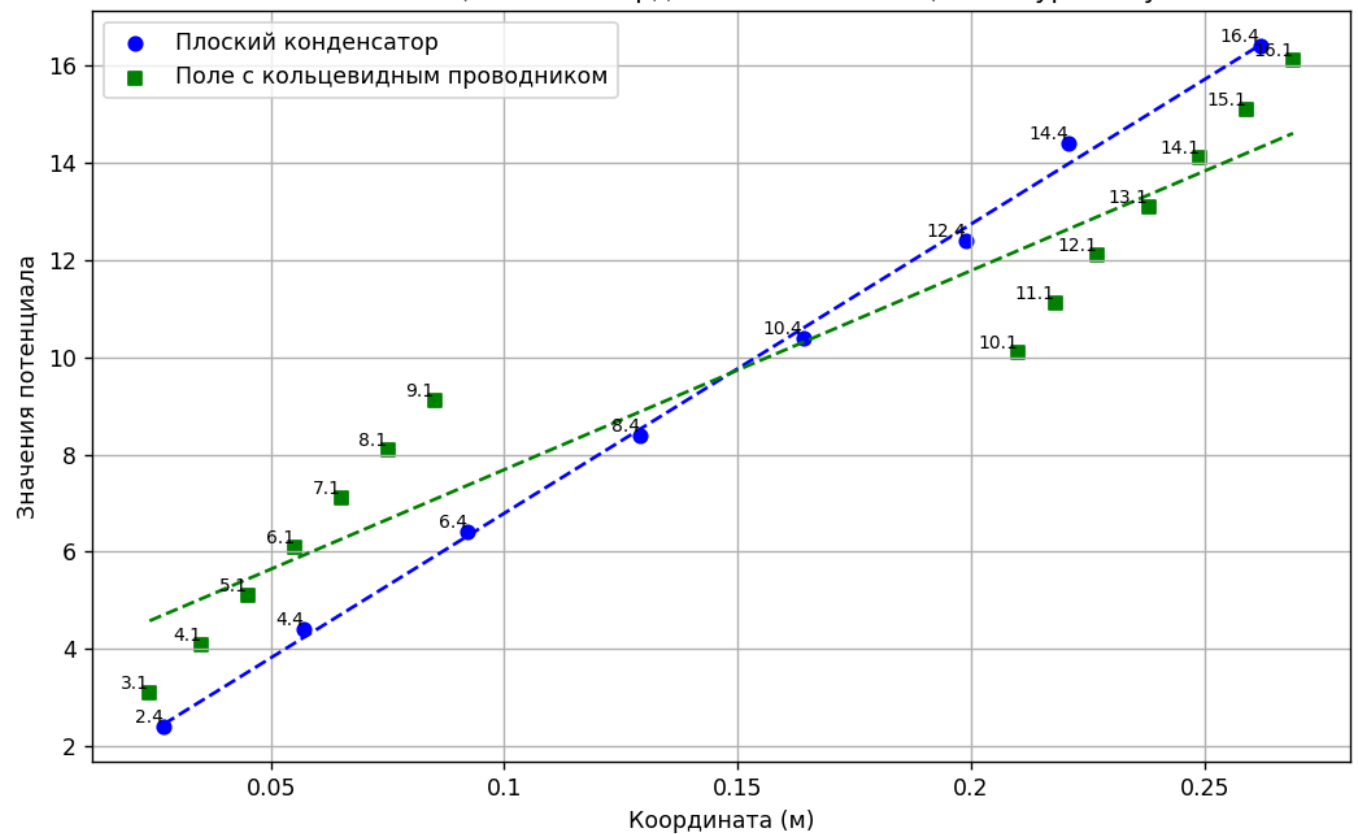
**График 2:** Схематическое изображение электрического поля с помещенным по центру кольцевым проводником. Красные – линии напряженности, Зеленые – сечения эквипотенциальных поверхностей плоскостью рисунка.



**График 3:** Зависимость потенциала от координаты по оси абсцисс на уровне  $y = 2$  см.  
Зависимость потенциала от координаты по оси абсцисс на уровне  $y = 2$  см



**График 3.1:** Зависимость потенциала от координаты по оси абсцисс на уровне  $y = 10$  см.  
Зависимость потенциала от координаты по оси абсцисс на уровне  $y = 10$  см





## 12. Окончательные результаты.

Расчет величины напряженности в центре электролитической ванны:

$$E_{\text{центра}} = (0,57 \pm 0,03) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Расчет величины напряженности в окрестности одного из электродов:

$$E_{\text{границы}} = (0,49 \pm 0,04) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах:

$$\sigma'_1 \in [4,03 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}, 3,77 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}]$$

$$\sigma'_2 \in [-6,03 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}, -5,80 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}]$$

Значения максимальной и минимальной напряженности в эксперименте с кольцевым проводником:

$$E_{\min} = (0,26 \pm 0,04) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$E_{\max} = (1,11 \pm 0,19) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе работы были смоделированы две конфигурации электростатического поля: плоский конденсатор и поле с проводящим кольцом. Для каждой конфигурации построены эквипотенциальные поверхности и силовые линии, а также рассчитаны значения напряжённости поля в центре, вблизи электродов и около проводящего кольца.

Проанализированы данные и построены графики зависимости потенциала от координаты по оси "главной горизонтали".

В конфигурации с проводящим кольцом максимальная напряжённость поля наблюдается около кольца и проводников, а минимальная — в области между электродами и кольцом, причём внутри кольца напряжённость остаётся постоянной.

Графики зависимости потенциала от координат показывают, что измерения внутри кольца не отличаются высокой точностью, так как потенциальные значения на начальных участках отклоняются. Однако эксперимент подтверждает, что в пределах кольца потенциал остаётся постоянным.

## 14. Замечания, полученные в процессе работы.

1. На графиках зависимости потенциалов от координат отсутствуют аппроксимирующие кривые
2. Погрешность для напряженности в центре кольца точно 0,03? не 0,031 или еще какие цифры?