Тетрадь для лабораторных работ по физике

Махмудова
Оржана

Лабораторная работа №60

Изучение электростатического поля

Цель работы: изучение электростатич. поля, созданного заряж. электродами разной формы, описание его с помощью следов эквипотенциальных поверхностей и силовых линий

Теория раздела

Напряж. электр. поля $\vec{E}$ в рассматр. точке – векторная величина, опред. силой, действ. на единичный полож. заряд, помещенный в эту точку

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$$

Единицы измерения напряжённости

$[E] = 1\ Н/Кл = 1\ В/м$

Сила взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 в вакууме опред. законом Кулона

$$\vec{F}_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r} \cdot \vec{e}_{12},$$

где $\vec{F}_{21}$ – сила, действ. на заряд q_2 со стороны заряда q_1, $\vec{e}_{12}$ – единичный вектор, имеющий направление от заряда q_1 к заряду q_2.

Из закона Кулона и определения напряженности поля следует ф-ла для напряжённости поля точечного заряда:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \vec{e}$$

Здесь $\vec{e}$ - единичный вектор, имеющий направл. от заряда к рассм. т. прост-ва

Электр. поле в среде наряду с напряженностью характ. вектором электр. индукции $\vec{D}$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E},$$

где ε - относит. диэлектр. проницаемость среды, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электр. пост.

Единицы измерения индукции:

$[D] = 1$ Кл/м^2

Направл. вектора напряж. в каждой точке можно наглядно изобразить, пользуясь понятием силовой линии или линии вектора $\vec{E}$, касательная к которой в каждой точке совпадает с направл. вектора напряж. Густота силовых линий, т.е число силовых линий, пересек. един. площадку в направл. нормали к ней, численно равна напряж. поля в этой точке

Электр. поле назыв. однородным, если во всех его точках значения вектора напряжённости $\vec{E}$ одинаковы, т.е. совпадают как по модулю, так и направл.

Принцип суперпозиции (сложения) электр. полей: напряженность электр. поля системы зарядов в произвольной точке равна векторной сумме напряж. полей, созд. каждым зарядом в отдельн.

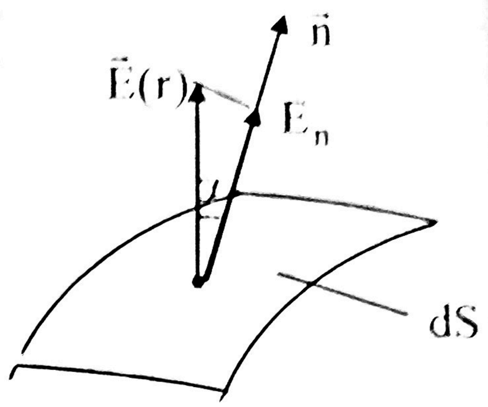
$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i \vec{E}_i(\vec{r})$$

Поток вектора напряжённости электр. поля через элемент поверхности dS

$$d\Phi = E_n dS,$$

где E_n - проекция вектора напряж. электр. поля $\vec{E}(\vec{r})$ на вектор нормали к элем. поверхн.

$$E_n = E\cos\alpha$$



Поток вектора напряж. через поверхность S:

$$\Phi = \int_S E_n \, dS$$

Единицы потока напряж. $[\Phi] = В \cdot м$

Теорема Остроградского - Гаусса для вакуума: поток вектора напряж. электр. поля через произв. замкнутую поверхн. равен алгебр. сумме зарядов, заключ. внутри этой поверхности, деленной на электр. пост:

$$\oint_S E_n \, dS = \frac{\sum_i q_i}{\varepsilon_0}$$

Для среды теорема Остроградского-Гаусса может быть записана через вектор электр. индукции

$$\oint_S D_n dS = \sum_i q_i$$

Энергетической характ. поля явл. потенциал φ – скалярная характ. электр. поля, равная отношению потенц. энер. U взаимод. заряда с полем к велич. этого заряда

$$\varphi = \frac{U}{q}$$

Потенц. энергия (ее изменение) равна работе перемещ. заряда из данной точки поля в бесконечность:

$$\Delta U = A = \int_r^\infty \vec{F} d\vec{r}$$

т.е. потенциал поля в данной точке опред. работой поля при перем. един. положит. заряда из данной точки поля в бесконечность

$$\varphi = \frac{A_{r\infty}}{q} = \int_{r}^{\infty} \vec{E}\, d\vec{r}$$

Потенциал поля точечного заряда на расстоянии r от него опред. формулой

$$\varphi = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 r}$$

Единицы измерения электр. потенциала

$$[\varphi] = \frac{[U]}{[q]} = \frac{1\ Дж}{1\ Кл} = 1\ В\ (Вольт)$$

Если в данной точке прост-ва $\exists$ неск. полей, то потенциал результ. поля равен скалярной (алгебр.) сумме потенциалов сост. полей

$$\varphi = \sum_i \pm \varphi_i$$

Эквипотенциальная поверхность - поверхн., все точки кот. имеют одинак. потенциал. Эквипотенц. поверхн. одного поля не пересек. между собой.

Ур-ие эквипотенц. поверхн. получается из усл. $\varphi = const$ и для точечного заряда имеет вид $r = const$ или

$x^2 + y^2 + z^2 = const$. То есть для точечного заряда эквипотенц. поверхности представляют собой концентрические сферы, центр которых совпадает с зарядом

Работа по перемещению заряда между точками 1 и 2 эквипотенциальной поверхн. равна нулю

$$A_{12} = q(\varphi_{r_1} - \varphi_{r_2}) = 0$$

Работа поля при перемещении заряда по произвольному замкнутому контуру длиной l с возвращ. в исходную точку

$$\oint dA = 0$$

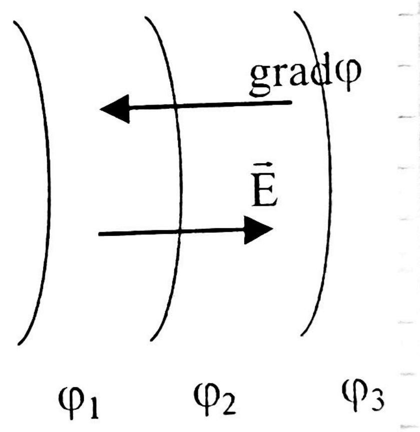
Так как $\delta A = \vec{F} d\vec{r} = \vec{F} d\vec{l}$, и согласно $\vec{F} = q\vec{B}$, получаем теорему о циркуляции вектора напряж. электр. поля $\vec{E}$:

$$\oint_l \vec{E}\, d\vec{l} = 0$$

циркуляция в-ра напряж. потенц. электр. поля по замкнутому контуру равна нулю

Потенциал и напряжённость электрич. поля связаны соотн.

$$\vec{E} = -\,\mathrm{grad}\,\varphi;$$



знак „–" означает, что вектор $\vec{B}$ направлен в сторону убывания потенц., как это показано на рис. ($\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$)

Вектор, направленный в сторону возрастания потенциала и равный изменению потенциала на един. длины, отсчит.

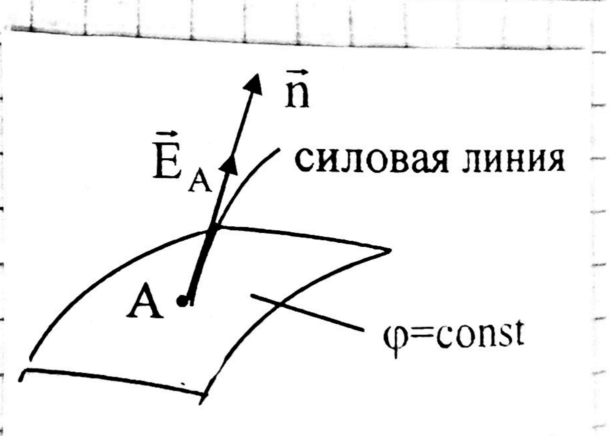
в направл. нормали к эквипотенц. поверхн., назыв. градиентом потенциала

$$\vec{E}=\vec{E}_x+\vec{E}_y+\vec{E}_z=-\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i}+\frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j}+\frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right),$$

где $\vec{i},\vec{j},\vec{k}$ - единичные полож. в-ры (орты)

Силовые линии всегда нормальны (ортогональны) к эквипотенциальным поверхностям. В частности, силовые лин. нормальны к поверхн. проводника, наход. в электр. поле, кот. явл. эквипотенц.

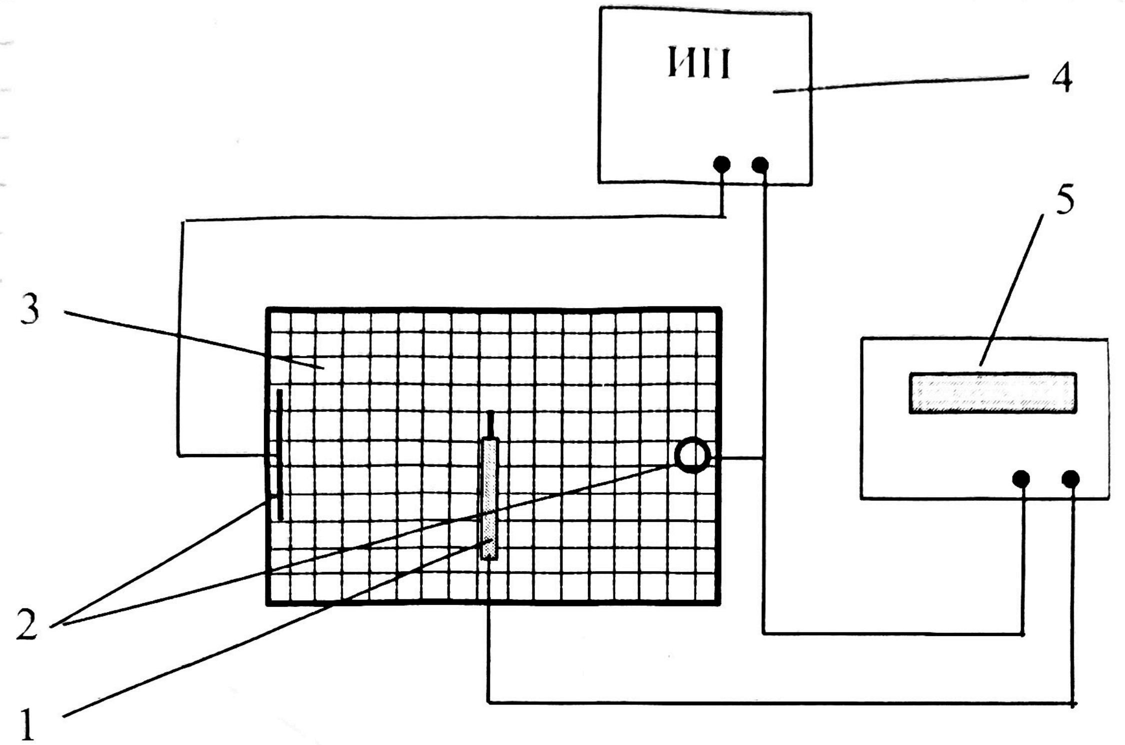
Напряж. поля E и индукция D у поверхности проводника, заряж. с поверхн. плотностью $\sigma=\frac{dq}{dS}$, связаны соотн.



$$E=\frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0}=\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0};$$

$$D=\sigma$$

Экспериментальная установка



Порядок выполнения работы

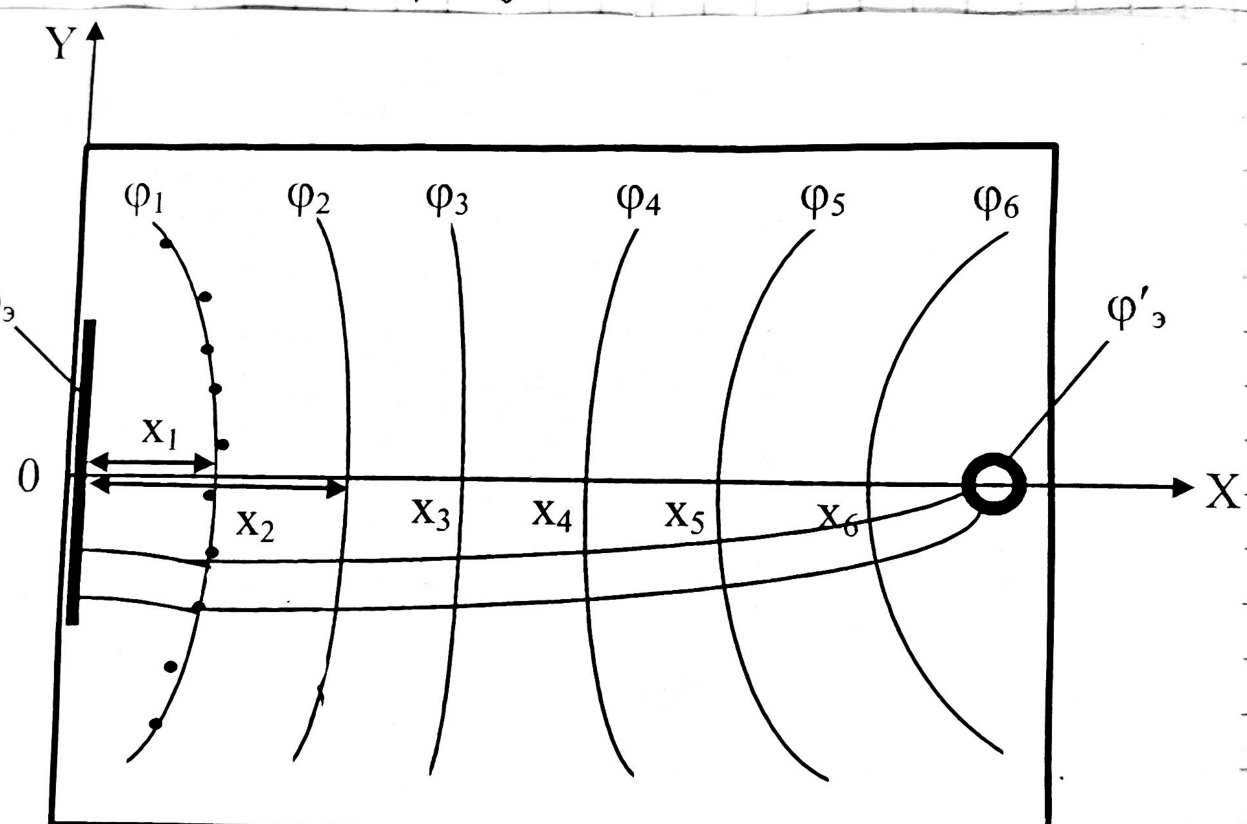
1) Подготовить установку к работе. Соединить проводниками электроды ванны с клеммами источника питания 4 для напряжения $U = 12$ В

2) Соед. зонд и один из электродов с цифр. вольтметром 5

3) Подать напряжение $U = 220$ В на

цифровой вольтметр и источник питания

4) На листе с миллиметровой бумагой (журнал для лаб. работ) в масштабе 1:1 нарисовать внутр. периметр ванны и электроды, как показано на рис.



5) С пом. зонда опред. потенциалы электронов ($\varphi_э$ и $\varphi_э'$)

6) С пом. зонда найти на дне ванной по 8–10 точек для каждой

7) Отключить установку

8) Провести 5-6 силовых линий так, чтобы они пересекали эквипотенц. кривые под прямым углом и подходили к поверхн. электродов

9) Занести в табл. 6.1 коорд x_i точек пересечения эквипотенциальных кривых с осью OX и соотв. значения потенциала φ. Построить график зависимости $\varphi = f(x)$

10) Выделить на оси OX около кажд. знач. x_i малый интервал ($\Delta x = 0{,}5$) так, чтобы значение x_i находилось в центре этого интервала

№ п.п	x_i см	φ_i В	Δx_i м	$\Delta \varphi_i$ В	$E_{x_i} = \frac{\Delta \varphi_i}{\Delta x}$ В/см
1	2,5	7,9	0,01	0,5	0,5
2	5	7,1	0,01	0,5	0,5
3	7,5	6,5	0,01	0,5	0,5
4	10	5,6	0,01	0,5	0,5
5	12,5	4,7	0,01	0,5	0,5

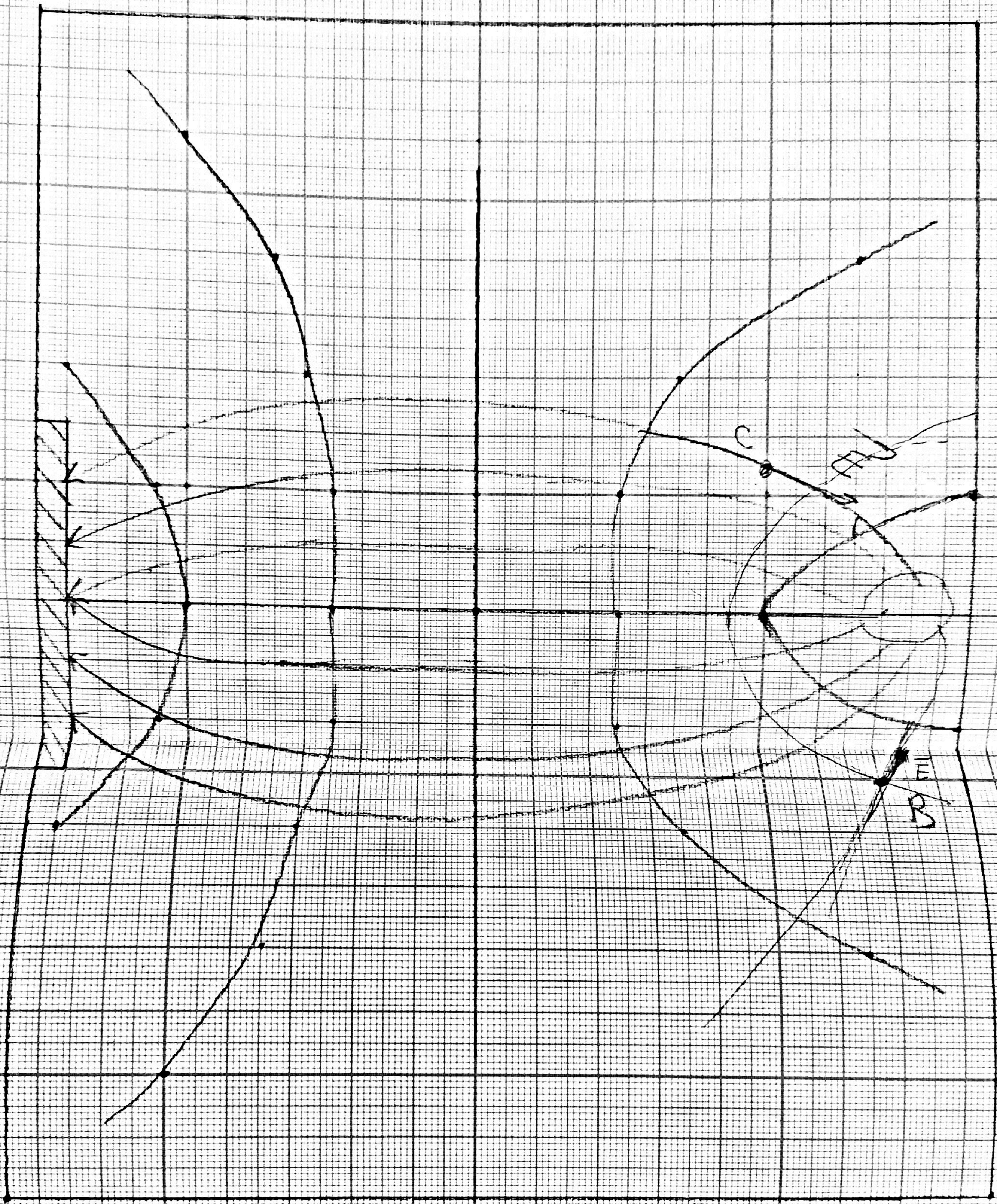
11) Согласно ф-лам найти значения напряж. поле для точек на оси Ох

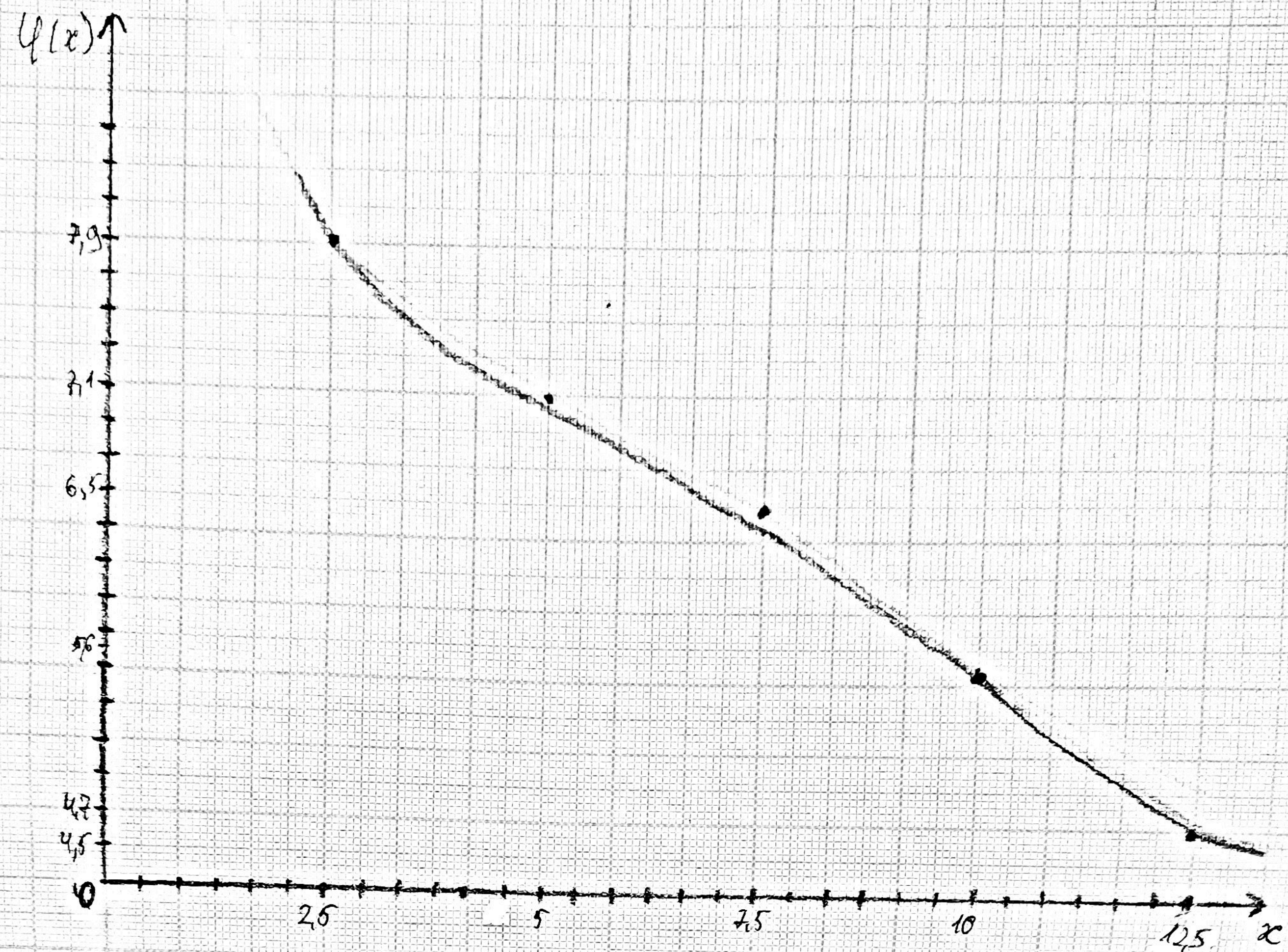
$$E_{xi} = \Delta\varphi_i / \Delta x_i$$

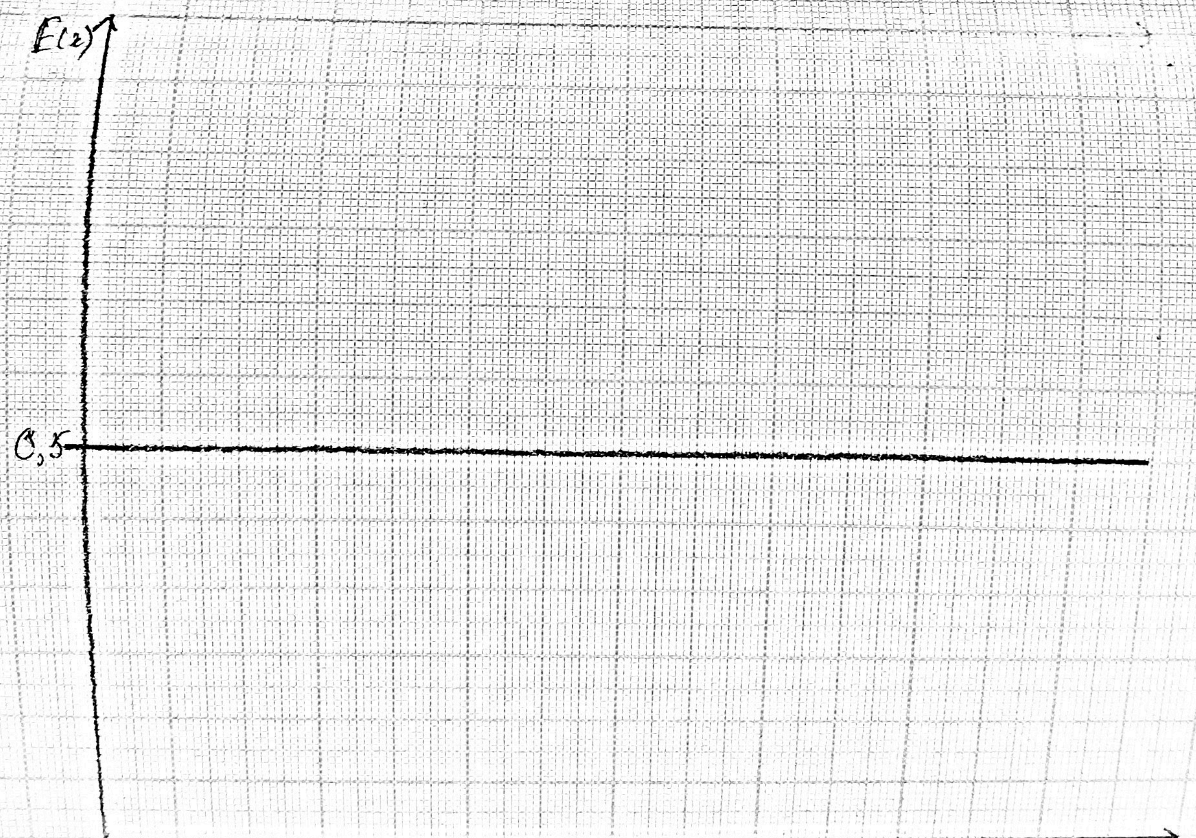
12) Построить график зависимости $E_x = f(x)$ и провести сглаженную кр.

Вывод: выполнение данной лабораторной работы мы изучили электростат. поле, созданного заряж. электродами разной формы, описали его с помощью следов эквипотенциальных поверхностей и силовых линий

Махмудов Орха




φ(x)
7,9
7,1
6,5
5,6
4,7
4,5
0
2,5
5
7,5
10
12,5
x


E(x)
0,5
0
x