

Группа М3213 \_\_\_\_\_

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Алексеева Виктория \_\_\_\_\_

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Громова Наира \_\_\_\_\_

Отчет принят \_\_\_\_\_

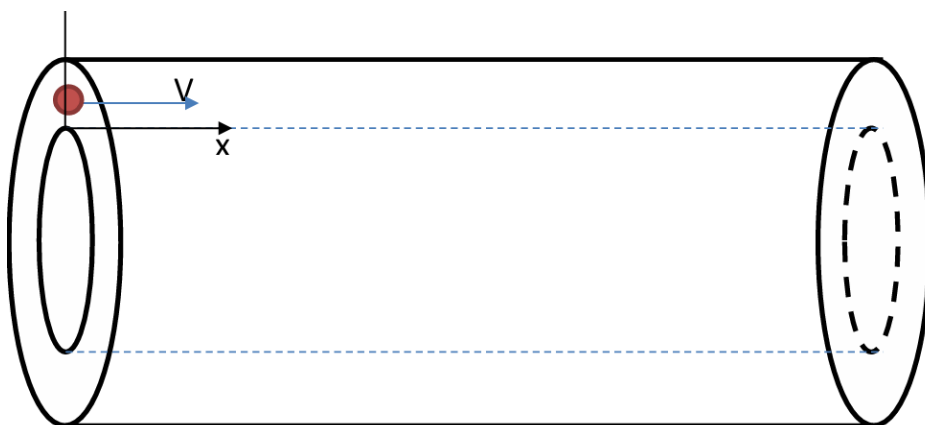
## Рабочий протокол и отчет по моделированию №2. Вариант 12

### Цель работы:

Найти, при какой минимальной разности потенциалов, приложенной к обкладкам, электрон не успеет вылететь из конденсатора. Построить графики зависимости  $y(x)$ ,  $V_y(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $y(t)$ . Рассчитать время полета  $t$  и конечную скорость электрона  $V_{\text{кон}}$ .

### Задание:

Электрон влетает в цилиндрический конденсатор с начальной скоростью  $V$ , посередине между обкладками, параллельно образуящим цилиндр.



При какой минимальной разности потенциалов, приложенной к обкладкам, электрон не успеет вылететь из конденсатора? Краевыми эффектами пренебречь. Построить графики зависимости  $y(x)$ ,  $V_y(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $y(t)$ . Координатные оси направлены как показано на рисунке. Рассчитать время полета  $t$  и конечную скорость электрона  $V_{\text{кон}}$ .

## Теория:

### Начальные данные:

- Внутренний радиус:  $r = 6,5\text{см} = 0,065\text{ м}$
- Внешний радиус:  $R = 14\text{см} = 0,14\text{м}$
- Начальная скорость:  $V_0 = 3 \cdot 10^6\text{ м/с}$
- Длина конденсатора:  $L = 22\text{см} = 0,22\text{м}$

```
double r = 0.065;  
double R = 0.14;  
double V0 = 3e6;  
double L = 0.22;
```

### Формулы и константы, используемые в программе:

1.  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  – заряд электрона, Кл
2.  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  – масса электрона, кг
3.  $d = R - r = 0,075\text{м}$  – расстояние между обкладками

```
double e = 1.6e-19;  
double m = 9.11e-31;  
double d = R - r;
```

4.  $U_{\min} = (m/e) \cdot (d \cdot V_0 / L)^2$  – минимальная разность потенциалов

```
double Umin = (m/e)*(d*V0/L)*(d*V0/L);
```

5.  $t_{\max} = L/V_0$  – время полета

```
double tMax = L / V0;
```

6.  $E = U_{\min}/d$  – напряженность поля

```
double E = Umin / d;
```

7.  $a_y = e \cdot E / m$  – ускорение

```
double ay = e * E / m;
```

8.  $V_{\text{кон}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$  – конечная скорость

```
double Vkon = Math.Sqrt(Math.Pow(V0,2) + Math.Pow(Vy,2));
```

9.  $x = v_0 \cdot t$

10.  $y = a_y \cdot t^2 / 2$

```
double x = V0 * t;  
double y = 0.5 * ay * t * t;
```

11.  $v_y = a_y \cdot t$

```
double vy = ay * t;
```

## Ход работы:

1. Найдем при какой минимальной разности потенциалов, приложенной к обкладкам, электрон не успеет вылететь из конденсатора:

Электрическое поле совершает работу:

$$A = Eed$$

Работу можно представить через разность потенциалов:

$$A = e(\phi_1 - \phi_2) = eU$$

Выражаем напряженность электрического поля через работу и разность потенциалов:

$$E = A/ed = eU/ed = U/d$$

Выражаем F через напряженность поля:

$$E = F/e$$

$$F = Ee$$

По 2 закону Ньютона выражаем ускорение и подставляем E:

$$ma = Ee$$

$$a = Ee/m$$

$$a = Ue/md$$

Найдем время движения частицы. Используем кинематический закон перемещения в проекции Oх:

$$L = V_0 t$$

$$t = L/V_0$$

Подставим t и a в кинематическое уравнение движения по оси Oy:

$$y = at^2/2$$

$$y = (Ue/md) * (L/V_0)^2/2$$

Чтобы электрон не вылетел из конденсатора, нужно, чтобы за время пролета, на которое он отклонится, было не меньше d/2. Отсюда:

$$y = d/2$$

$$d/2 = ((Ue/md) * (L/V_0)^2)/2$$

Выразим U:

$$U = (m/e) * (d^2 V_0^2 / L^2) = 5,96 \text{ В}$$

Время полета:

$$t = L/V_0 = 7,33 \times 10^{-8} \text{ с}$$

## 2. Найдем конечную скорость Vкон:

Чтобы найти конечную скорость Vкон электрона, необходимо учитывать как скорость вдоль оси x, так и скорость вдоль оси y. Поскольку электрон движется в электрическом поле, его скорость по x остаётся неизменной, а по y она увеличивается из-за ускорения.

Конечная скорость электрона находится по теореме Пифагора:

$$V_{\text{кон}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

где:

- $V_x = V_0$  — начальная скорость вдоль оси x
- $V_y = ay * t$  — скорость вдоль оси y к моменту вылета из конденсатора.

Тогда:

$$V_{\text{кон}} = 3169537,99 \text{ м/с}$$

## 3. Построим график зависимости y(x):

Траектория электрона в конденсаторе - парабола, так как ускорение вдоль оси y постоянно.

$$x = V_0 * t$$

$$y = ay * t^2/2$$

## 4. Построим график зависимости Vy(t):

Скорость по оси y линейно растет со временем из-за постоянного ускорения.

$$v_y = ay * t$$

## 5. Построим график зависимости ay(t):

Ускорение вдоль оси y постоянно, поэтому добавляем точки ay на график с заданным шагом с помощью цикла.

## 6. Построим график зависимости y(t):

Смещение вдоль оси y увеличивается квадратично со временем.

$$y(t) = ay t^2/2$$

# Визуализация:

График  $y(x)$ :

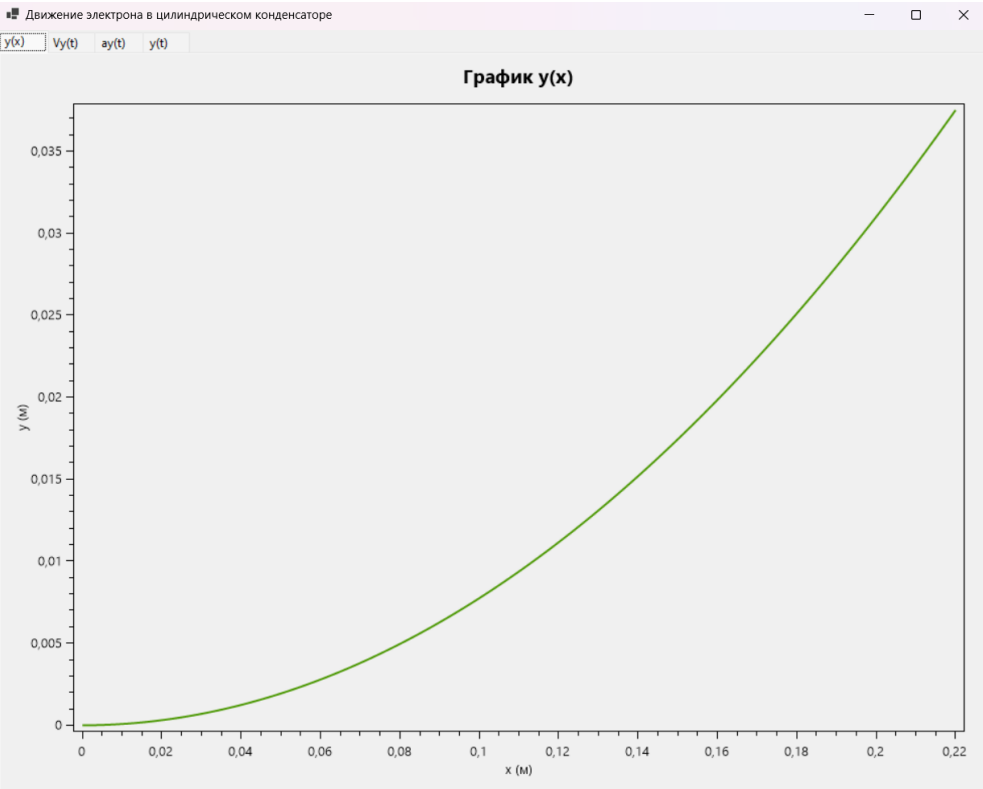
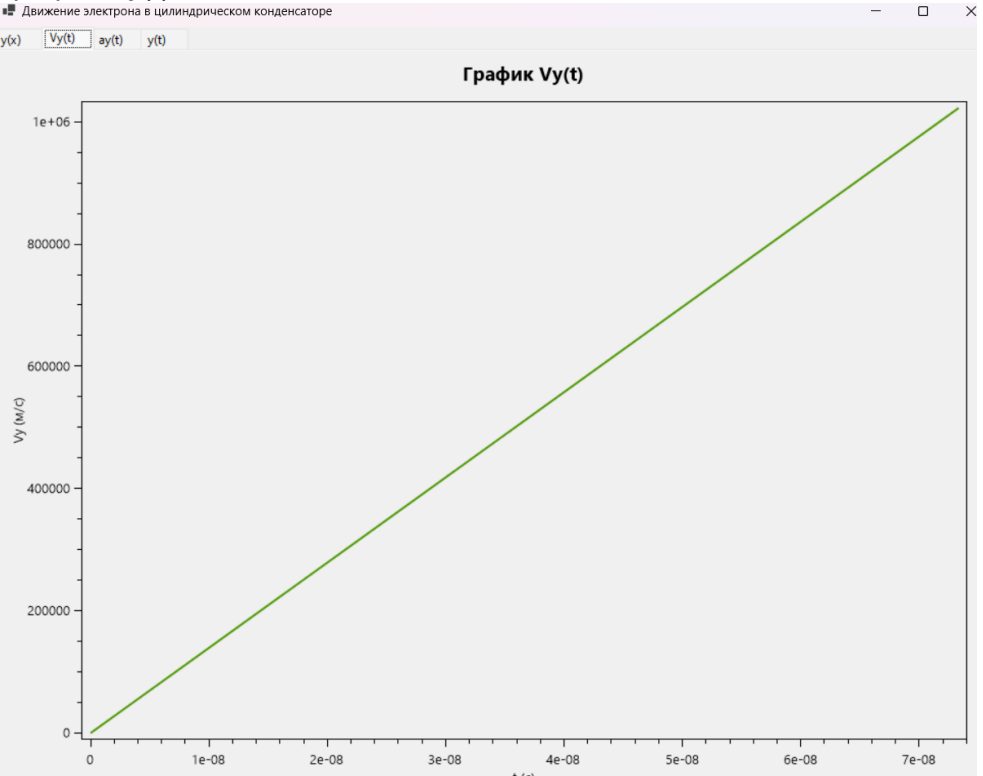
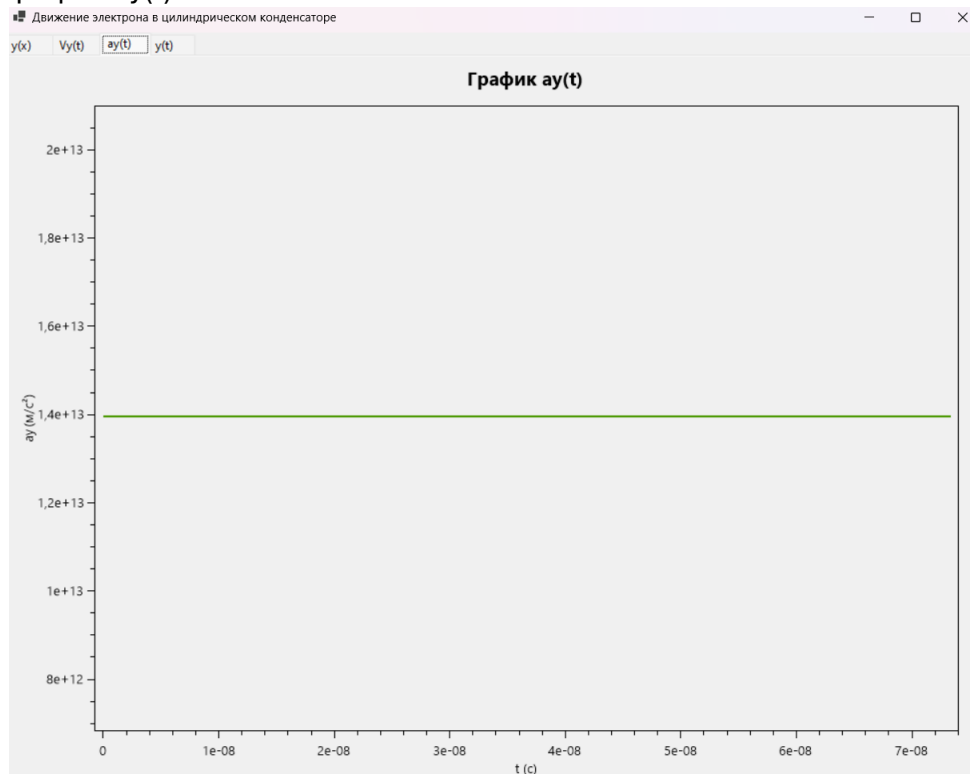


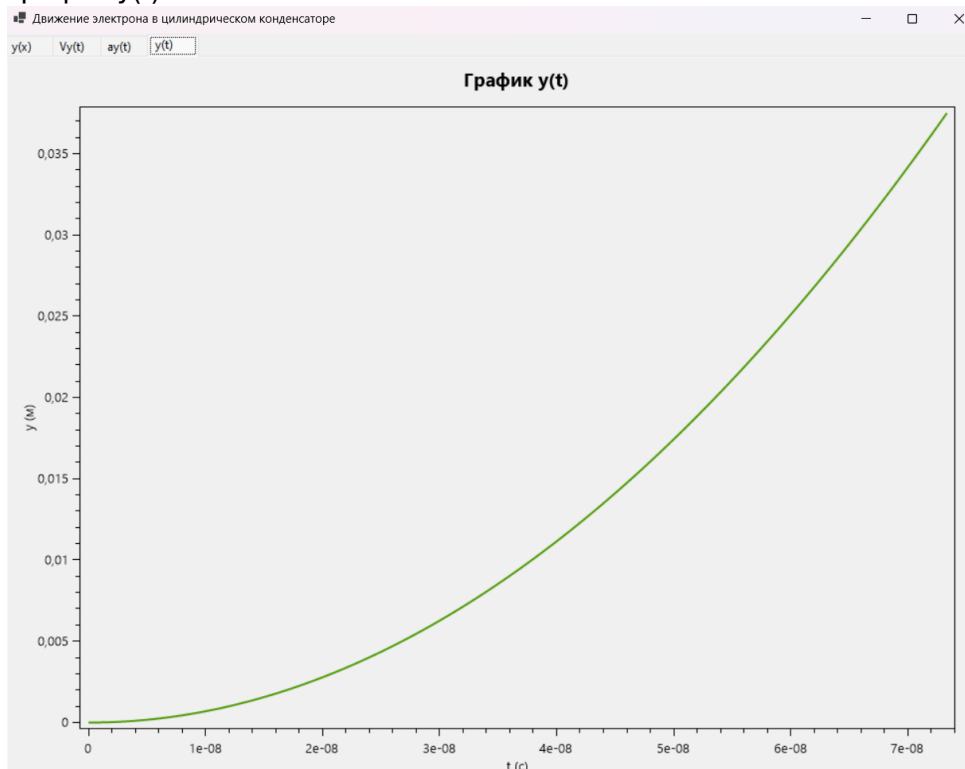
График  $V_y(t)$ :



## График $a_y(t)$ :



## График $y(t)$



Консольный вывод  $U$ ,  $t$ ,  $V_{\text{кон}}$ :

```
Минимальная разность потенциалов: 5,96 В  
Время полета: 7,33333333333333E-08 с  
Конечная скорость: 3169537,99 м/с
```

## Код:

```
using OxyPlot;
using OxyPlot.Axes;
using OxyPlot.Series;
using OxyPlot.WindowsForms;

namespace PhysicsModeling2;
public partial class Form1 : Form
{
    private TabControl tabControl;

    public Form1()
    {
        Text = "Движение электрона в цилиндрическом конденсаторе";
        Width = 1000;
        Height = 800;

        tabControl = new TabControl { Dock = DockStyle.Fill };
        Controls.Add(tabControl);

        AddPlotTab("y(x)", CreateYxPlotModel());
        AddPlotTab("Vy(t)", CreateVyTPlotModel());
        AddPlotTab("ay(t)", CreateAyTPlotModel());
        AddPlotTab("y(t)", CreateYTPlotModel());
    }

    private void AddPlotTab(string title, PlotModel model)
    {
        var tabPage = new TabPage { Text = title };
        var plotView = new PlotView { Dock = DockStyle.Fill, Model = model };
        tabPage.Controls.Add(plotView);
        tabControl.TabPages.Add(tabPage);
    }

    private PlotModel CreateYxPlotModel()
    {
        double r = 0.065;
        double R = 0.14;
        double V0 = 3e6;
        double L = 0.22;
        double e = 1.6e-19;
        double m = 9.11e-31;
        double d = R - r;

        double Umin = (m/e) * (d*V0/L) * (d*V0/L); // минимальная разность
        // потенциалов
        Console.WriteLine("Минимальная разность потенциалов: " +
            Math.Round(Umin, 2) + " В");

        double tMax = L / V0;
        Console.WriteLine("Время полета: " + tMax + " с");

        double E = Umin / d;
        double ay = e * E / m;
        double Vy = ay * tMax;
        double Vkon = Math.Sqrt(Math.Pow(V0, 2) + Math.Pow(Vy, 2));
        Console.WriteLine("Конечная скорость: " + Math.Round(Vkon, 2) + "
        м/с");

        // y(x)
        var yx = new LineSeries { Title = "y(x)" };
        double timeStep = 1e-11;
```

```

        for (double t = 0; t <= tMax; t += timeStep)
        {
            double x = V0 * t;
            double y = 0.5 * ay * t * t;
            yx.Points.Add(new DataPoint(x, y));
        }

        var plotModel = new PlotModel { Title = "График y(x)" };
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Bottom,
Title = "x (M)" });
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Left,
Title = "y (M)" });
        plotModel.Series.Add(yx);

        return plotModel;
    }

    private PlotModel CreateVyTPlotModel()
    {
        double r = 0.065;
        double R = 0.14;
        double V0 = 3e6;
        double L = 0.22;
        double e = 1.6e-19;
        double m = 9.11e-31;
        double d = R - r;

        double Umin = (m/e) * (d*V0/L) * (d*V0/L);
        double tMax = L / V0;
        double E = Umin / d;
        double ay = e * E / m;
        double timeStep = 1e-11;

        // Vy(t)
        var vy_t = new LineSeries { Title = "Vy(t)" };
        for (double t = 0; t <= tMax; t += timeStep)
        {
            double vy = ay * t;
            vy_t.Points.Add(new DataPoint(t, vy));
        }

        var plotModel = new PlotModel { Title = "График Vy(t)" };
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Bottom,
Title = "t (c)" });
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Left,
Title = "Vy (M/c)" });
        plotModel.Series.Add(vy_t);

        return plotModel;
    }

    private PlotModel CreateAyTPlotModel()
    {
        double r = 0.065;
        double R = 0.14;
        double V0 = 3e6;
        double e = 1.6e-19;
        double m = 9.11e-31;
        double L = 0.22;
        double d = R - r;

        double Umin = (m/e) * (d*V0/L) * (d*V0/L);
        double E = Umin / d;

```

```

        double ay = e * E / m;

        // ay(t)
        var ay_t = new LineSeries { Title = "ay(t)" };
        double timeStep = 1e-11;
        double tMax = L/V0;
        for (double t = 0; t <= tMax; t += timeStep)
        {
            ay_t.Points.Add(new DataPoint(t, ay));
        }

        var plotModel = new PlotModel { Title = "График ay(t)" };
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Bottom,
Title = "t (c)" });
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Left,
Title = "ay (M/c²)" });
        plotModel.Series.Add(ay_t);

        return plotModel;
    }

    private PlotModel CreateYTPlotModel()
    {
        double r = 0.065;
        double R = 0.14;
        double V0 = 3e6;
        double L = 0.22;
        double e = 1.6e-19;
        double m = 9.11e-31;

        double d = R - r;
        double Umin = (m / e) * (d * V0 / L) * (d * V0 / L);
        double timeStep = 1e-11;
        double tMax = L / V0;
        double E = Umin / d;
        double ay = e * E / m;

        // y(t)
        var yt = new LineSeries { Title = "y(t)" };
        for (double t = 0; t <= tMax; t += timeStep)
        {
            double y = 0.5 * ay * t * t;
            yt.Points.Add(new DataPoint(t, y));
        }

        var plotModel = new PlotModel { Title = "График y(t)" };
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Bottom,
Title = "t (c)" });
        plotModel.Axes.Add(new LinearAxis { Position = AxisPosition.Left,
Title = "y (M)" });
        plotModel.Series.Add(yt);

        return plotModel;
    }
}

```



## Вывод:

В данном моделировании мы нашли при какой минимальной разности потенциалов, приложенной к обкладкам, электрон не успеет вылететь из конденсатора. При данных начальных данных разность потенциалов равна 5,96В.

Были построены графики зависимости  $y(x)$ ,  $V_y(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $y(t)$  и рассчитаны время полета  $t = 7,33e-08$  и конечная скорость электрона  $V_{кон} = 3169537,99$  м/с.