

Группа М3115

К работе допущены \_\_\_\_\_

Шатинский Григорий Сергеевич  
Студенты Кочубеев Николай Сергеевич

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Рахманова Гульназ Раифовна

Отчет принят

## Численное моделирование по физике №2 «Частица в конденсаторе»

### 1. Цель работы:

Найти минимальную разность потенциалов, приложенную к обкладкам конденсатора, при которой электрон не успеет вылететь из конденсатора

### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

Найти  $U_{\min}$

Построить графики зависимости  $y(x)$ ,  $V_y(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $y(t)$

Рассчитать время полета  $t$  и конечную скорость электрона  $V_{\text{кон}}$

### 3. Объект исследования:

Электрон, влетающий в плоский конденсатор

### 4. Метод экспериментального исследования:

Теоретическое исследование

### 5. Рабочие формулы и исходные данные:

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$r = 13,5 \text{ см} = 0,135 \text{ м}$$

$$R = 28 \text{ см} = 0,28 \text{ м}$$

$$V_0 = 4,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

$$L = 36 \text{ см} = 0,36 \text{ м}$$

### 6. Выводы и анализ результатов работы:

Была проведена работа по изучению поведения электрона при попадании в плоский конденсатор. После вычислений мы получили некие величины (характеристики) для электрона. Полученные значения, как и предполагалось, соответствуют ожиданиям, поэтому можно считать эксперимент успешным.

Дано:

$$r = 0,085 \text{ м}$$

$$R = 0,18 \text{ м}$$

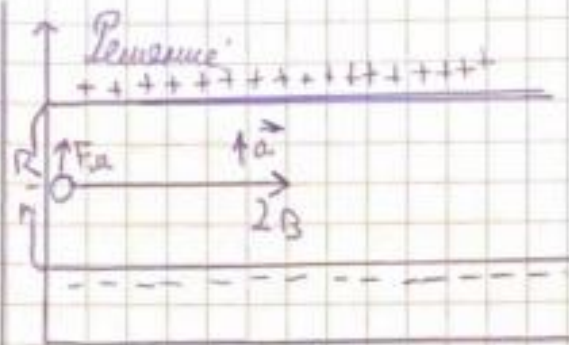
$$V_0 = 10^6 \text{ м/с}$$

$$L = 0,26 \text{ м}$$

$$U_{\text{min}} - ?$$

$$t_{\text{max}} - ?$$

$$V_{\text{max}} - ?$$



$$F_{\text{эл}} = |q \cdot E| \text{ направлено на } \vec{E}$$

$$E = \frac{U}{R-r} \Rightarrow F_{\text{эл}} = \left| \frac{qU}{R-r} \right|$$

По 2 закону Ньютона:

$$F_{\text{эл}} = ma = \left| \frac{qU}{R-r} \right| \Rightarrow U = ma \frac{R-r}{q}$$

$$Oy: \frac{R-r}{2} = \frac{a \cdot t_{\text{max}}^2}{2}; a = \frac{R-r}{t_{\text{max}}^2}; U = m \frac{(R-r)^2}{t_{\text{max}}^2} \cdot q$$

$$V_x \text{ и } V_y \text{ макс: } a_x = 0, V_x = V_0 = \text{const}, \vec{V}_y = \vec{V}_{0y} + \vec{a} t, \Rightarrow V_y = at$$

Несколько выведем при  $t_{\text{max}} \leq \frac{L}{V_0}$ . Для нахождения  $U_{\text{min}}$  найдем

$$\text{максимальный заряд электрона: } U_{\text{min}} = \frac{m(R-r)^2 \cdot V_0^2}{q \cdot L^2}$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{V_{x\text{max}}^2 + V_{y\text{max}}^2} = \sqrt{V_0^2 + \frac{V_0^2 (R-r)^2}{L^2}}$$

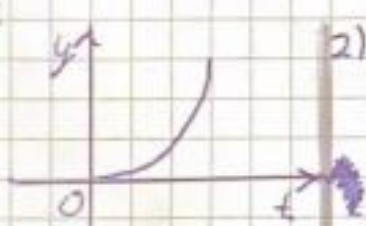
Требуется:

$$1) y(t) = \frac{at^2}{2}$$

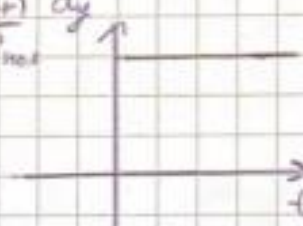
$$x(t) = V_0 t$$

$$y(t) = \frac{at^2}{2}$$

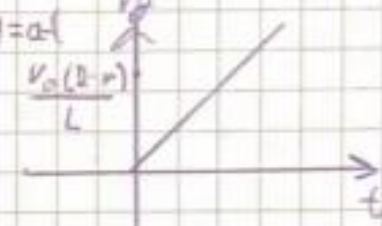
$$\begin{cases} t = \frac{x(t)}{V_0} \\ y(t) = \frac{ax^2}{2V_0^2} = \frac{(R-r)x^2}{2L^2} = 0,703x^2 \end{cases}$$



$$2) a_y(t) = \frac{(R-r)}{t_{\text{max}}^2} a_y$$



$$3) V_y(t) = at$$



$$t_{\text{max}} = \frac{L}{V_0} = \frac{0,26}{10^6} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ (с)}$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{V_0^2 + \frac{(R-r)^2 V_0^2}{L^2}} \approx |U_{\text{min}}| = \left| \frac{m(R-r)^2 \cdot V_0^2}{q \cdot L^2} \right| = 0,75938$$

$$\approx 10,647 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

## Код:

```
from math import log
import matplotlib.pyplot as plt

class Electron:
    def __init__(self, v, r1, r2, l):
        self.x = 0
        self.y = (r2 - r1) / 2 + r1
        self.r1 = r1
        self.r2 = r2
        self.vx = v
        self.vy = 0
        self.q = -1.6 * 10 ** -19
        self.m = 9.1 * 10 ** -31
        self.l_ = l
        self.t = 0

    def aay(self, U):
        return (self.q * U) / (self.y * self.m * log(self.r2 / self.r1))

    def motion(self, U):
        dt = 1 / 1000000000000000
        while self.x < self.l_ and self.y > self.r1:
            dvy = self.aay(U)
            self.vy += dvy * dt
            self.y += self.vy * dt
            self.x += self.vx * dt
            self.t += dt

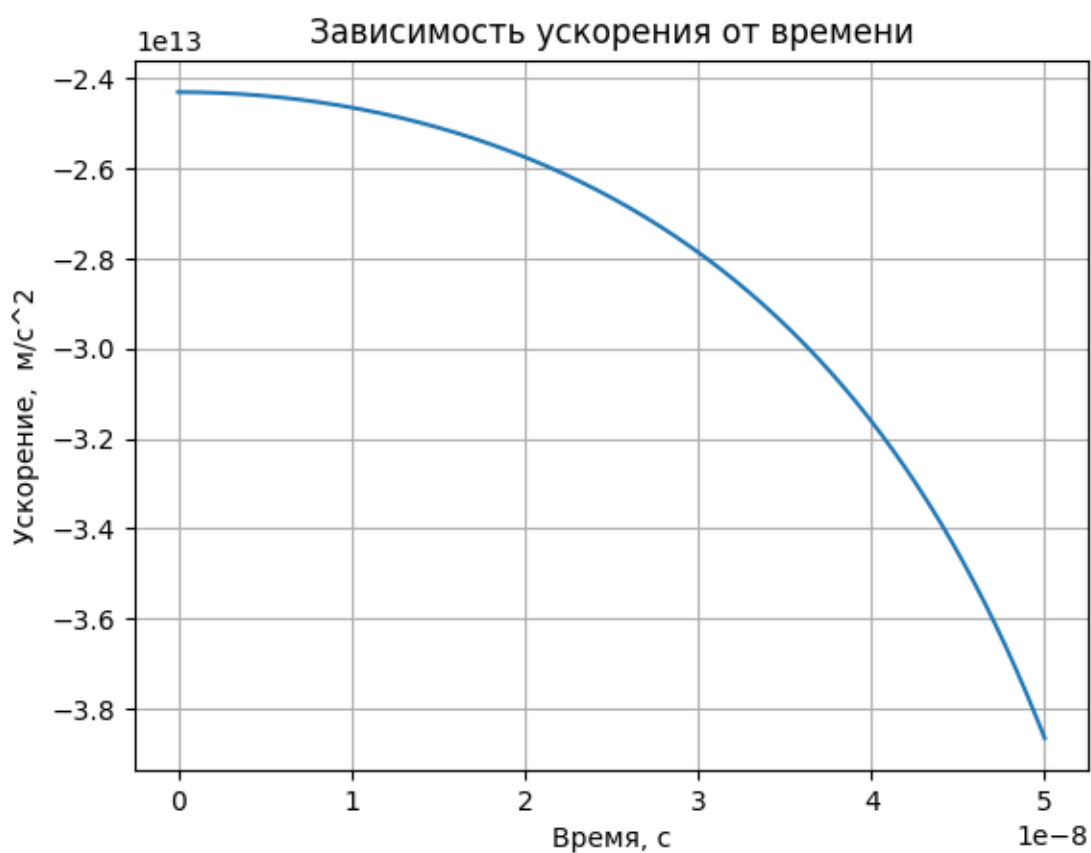
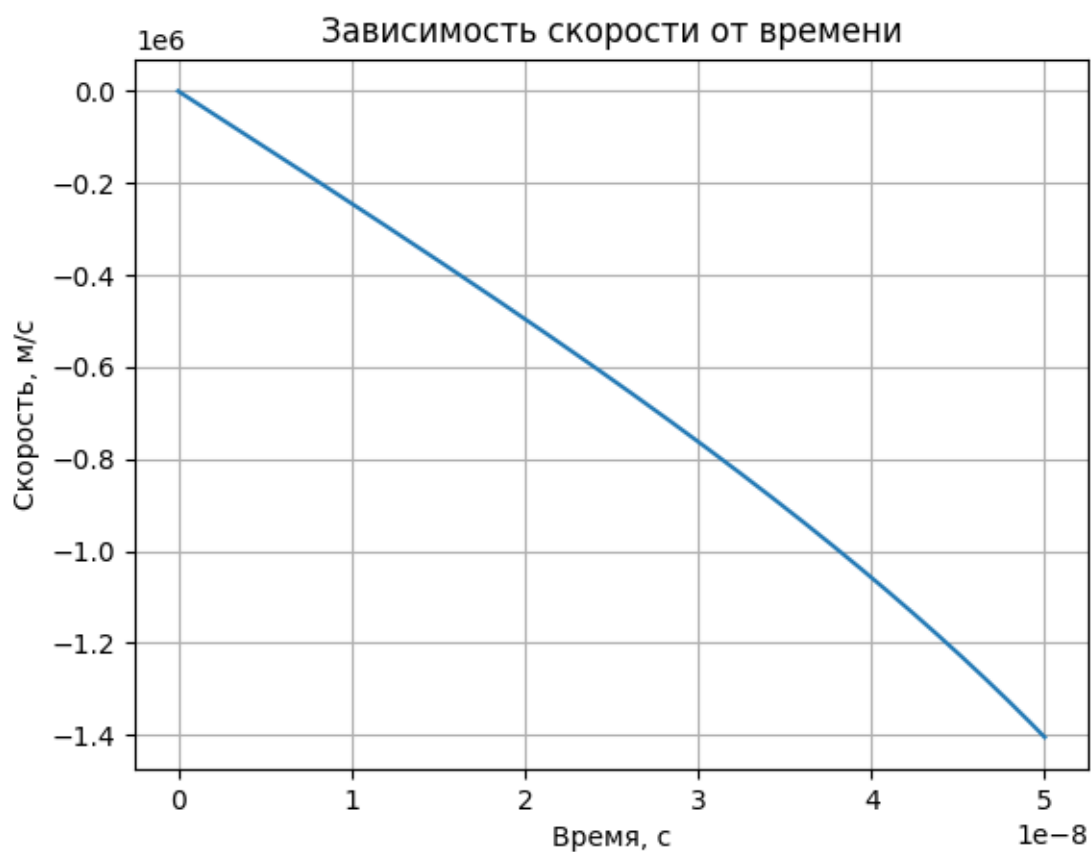
    def motion_for_graphic(self, U):
        dt = 1 / 1000000000000000
        yx = []
        vy = []
        ay = []
        yt = []
        while self.x < self.l_ or self.y > self.r1:
            yx.append((self.x, self.y))
            vy.append((self.t, self.vy))
            dvy = self.aay(U)
            ay.append((self.t, dvy))
            yt.append((self.t, self.y))
            self.vy += dvy * dt
            self.y += self.vy * dt
            self.x += self.vx * dt
            self.t += dt
        return [yx, vy, ay, yt]

with open("input.txt", "r") as f:
    a = [[float(j) for j in i.split(" ")] for i in f.read().split("\n")]
    ind = int(input()) - 1

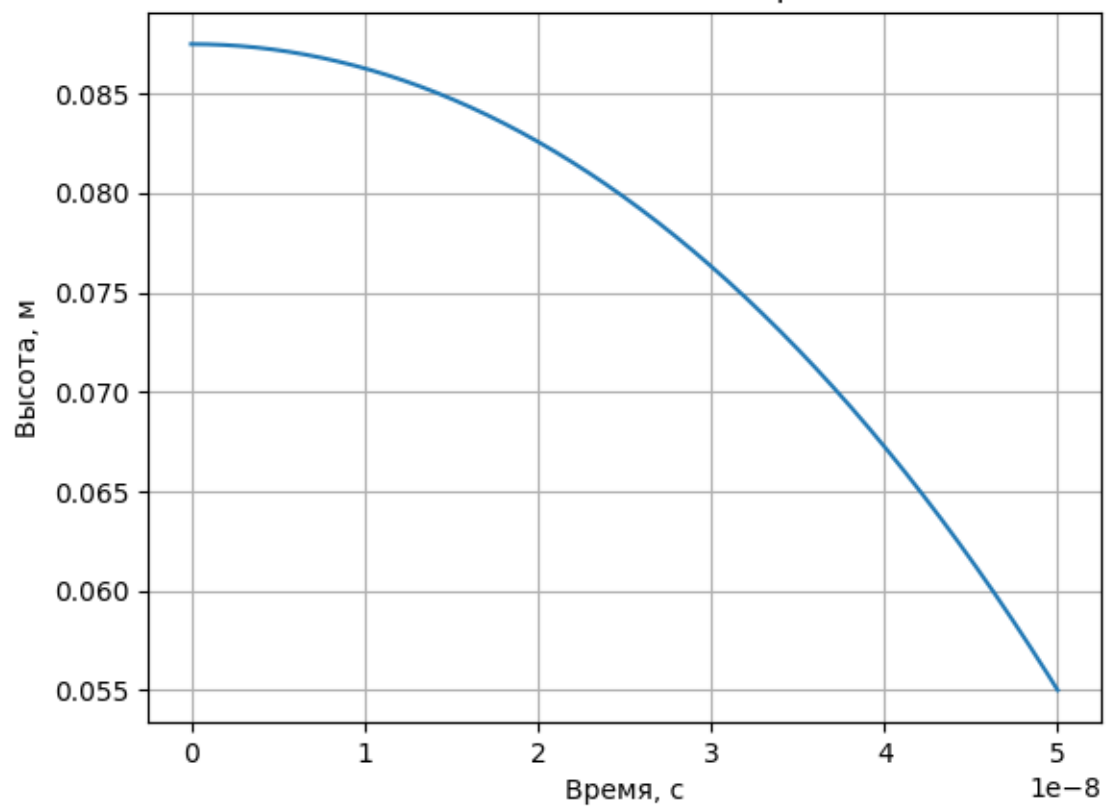
Umax = 1000
Umin = 0
while Umax - Umin > 0.0000001:
    Electron_ = Electron(a[ind][2], a[ind][0], a[ind][1], a[ind][3])
    U = (Umax + Umin) / 2
    Electron_.motion(U)
    if Electron_.x >= Electron_.l_:
        Umin = U
    else:
        Umax = U
Electron_ = Electron(a[ind][2], a[ind][0], a[ind][1], a[ind][3])
yx, vy, ay, yt = Electron_.motion_for_graphic(U)
print("Минимальное напряжение", U)
print("Время полета", Electron_.t)
print("Скорость конечная", (Electron_.vy ** 2 + Electron_.vx ** 2) ** 0.5)
```

```
pt.title('Зависимость высоты от расстояния')
pt.xlabel('Пройденное расстояние, м')
pt.ylabel('Высота, м')
pt.plot([i[0] for i in yx], [i[1] for i in yx])
pt.grid()
pt.savefig('y(x)', )
pt.show()
pt.title('Зависимость скорости от времени')
pt.xlabel('Время, с')
pt.ylabel('Скорость, м/с')
pt.grid()
pt.plot([i[0] for i in vy], [i[1] for i in vy])
pt.savefig('Vy(t)', )
pt.show()
pt.title('Зависимость ускорения от времени')
pt.xlabel('Время, с')
pt.ylabel('Ускорение, м/с^2')
pt.grid()
pt.plot([i[0] for i in ay], [i[1] for i in ay])
pt.savefig('ay(t)', )
pt.show()
pt.title('Зависимость высоты от времени')
pt.xlabel('Время, с')
pt.ylabel('Высота, м')
pt.grid()
pt.plot([i[0] for i in yt], [i[1] for i in yt])
pt.savefig('y(t)', )
pt.show()
```

## Графики:



Зависимость высоты от времени



Зависимость высоты от расстояния

