

Группа _____ М3213 _____

К работе допущен _____

Студент Губанов Константин Романович

Работа выполнена _____

Преподаватель Хуснутдинова Наира
Рустемовна

Отчет принят _____

**Рабочий протокол и отчет по
моделированию 2 «Частица в конденсаторе»
Вариант 17**

1. Цель работы.

- 1.1 Исследовать движение электрона в однородном электрическом поле цилиндрического конденсатора.
- 1.2 Найти минимальное напряжение, при котором электрон не покидает пределы конденсатора.
- 1.3 Построить графики зависимости ключевых параметров: траектории электрона $y(x)$, скорости $V_y(t)$, ускорения $a_y(t)$ и положения $y(t)$ от времени.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- 2.1 Рассчитать электрическое поле внутри конденсатора и ускорение электрона.
- 2.2 Найти минимальное напряжение, при котором отклонение электрона y достигает границы внутренней обкладки.
- 2.3 Определить конечную скорость электрона и его траекторию.
- 2.4 Визуализировать результаты моделирования через графики.

3. Объект исследования.

Движение электрона внутри цилиндрического конденсатора длиной $l=27$ см, с внутренним радиусом $r_{\text{inner}}=9$ см и внешним радиусом $r_{\text{outer}}=19$ см. Электрон запускается с начальной скоростью $V_{\text{initial}}=9.5 \times 10^5$ м/с, перпендикулярно электрическому полю.

4. Метод экспериментального исследования.

Используется численное моделирование движения электрона под действием однородного электрического поля. Для расчетов применяются основные законы механики и электродинамики:

Ускорение электрона определяется как $a_y = (e \cdot E) / m$, где $E = V / d$, а $d = r_{\text{outer}} - r_{\text{inner}}$.

Отклонение y находится из уравнения $y = 0.5 \cdot a_y \cdot t^2$, где время пролета $t = l / V_{\text{initial}}$.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Исходные данные:

Заряд электрона (e): $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона (m): $9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Электрическая постоянная (ϵ_0): $8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Внутренний радиус (r_{inner}): 0.09 м
Внешний радиус (r_{outer}): 0.19 м
Длина конденсатора (l): 0.27 м
Начальная скорость (V_{initial}): $9.5 \cdot 10^5$ м/с

6. Код программы

```
4  # Константы
5  e = 1.6e-19 # Заряд электрона (Кл)
6  m = 9.11e-31 # Масса электрона (кг)
7  epsilon_0 = 8.85e-12 # Электрическая постоянная (Ф/м)
8
9  # Входные параметры (переведены в СИ)
10 r_inner = 9 * 1e-2 # Внутренний радиус конденсатора (м)
11 r_outer = 19 * 1e-2 # Внешний радиус конденсатора (м)
12 l = 27 * 1e-2 # Длина конденсатора (м)
13 V_initial = 9.5 * 1e5 # Начальная скорость электрона (м/с)
14
15 # Вычисление электрического поля между обкладками
16 V_applied = np.linspace( start: 1, stop: 1000, num: 1000) # Диапазон прикладываемых напряжений (В)
17 d = r_outer - r_inner
18 E = V_applied / d # Электрическое поле (В/м)
19
20 # Вычисление траектории для минимального напряжения
21 x = np.linspace( start: 0, l, num: 500) # Продольная ось (м)
22 y_initial = (r_outer - r_inner) / 2 # Начальное положение по y (середина между обкладками)
23
24 # Поиск минимального напряжения, при котором электрон остаётся в конденсаторе
25 critical_deflection = y_initial # Отклонение не должно превышать начальное положение y
26 V_min = None
27
28 for V in V_applied:
29     a_y = e * (V / d) / m # Ускорение в направлении y (м/с^2)
30     t = l / V_initial # Время пролёта (с)
31     y_deflection = 0.5 * a_y * t**2 # Максимальное отклонение (м)
32     if y_deflection >= critical_deflection:
33         V_min = V
34         break
35
```

```

36 # Вычисление времени пролёта и конечных компонент скорости
37 t_flight = l / V_initial
38 ay = e * (V_min / d) / m # Ускорение (м/с^2)
39 Vy_final = ay * t_flight # Конечная скорость по y (м/с)
40 V_final = np.sqrt(V_initial**2 + Vy_final**2) # Модуль конечной скорости
41
42 y = y_initial + 0.5 * ay * (x / V_initial)**2
43
44 # Построение графиков
45 plt.figure(figsize=(14, 8))
46
47 # Траектория y(x)
48 plt.subplot(*args: 2, 2, 1)
49 plt.plot(*args: x, y)
50 plt.title("Траектория электрона y(x)")
51 plt.xlabel("x (м)")
52 plt.ylabel("y (м)")
53 plt.grid()
54
55 # Vy(t)
56 t = np.linspace(start: 0, t_flight, num: 500)
57 Vy = ay * t
58 plt.subplot(*args: 2, 2, 2)
59 plt.plot(*args: t, Vy)
60 plt.title("Скорость электрона Vy(t)")
61 plt.xlabel("Время (с)")
62 plt.ylabel("Vy (м/с)")
63 plt.grid()
64
65 # vx(t)

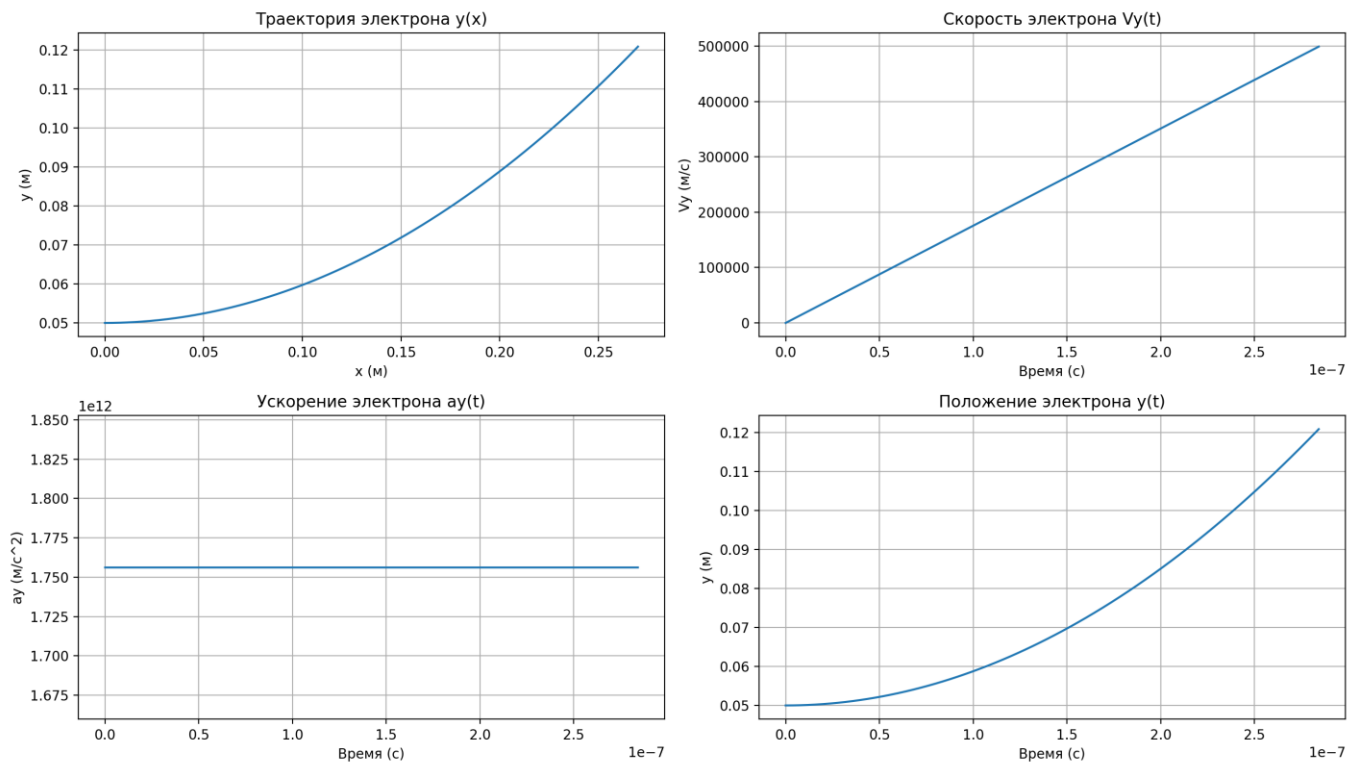
```

```

65 # ay(t)
66 ay_t = ay * np.ones_like(t)
67 plt.subplot(*args: 2, 2, 3)
68 plt.plot(*args: t, ay_t)
69 plt.title("Ускорение электрона ay(t)")
70 plt.xlabel("Время (с)")
71 plt.ylabel("ay (м/с^2)")
72 plt.grid()
73
74 # y(t)
75 y_t = y_initial + 0.5 * ay * t**2
76 plt.subplot(*args: 2, 2, 4)
77 plt.plot(*args: t, y_t)
78 plt.title("Положение электрона y(t)")
79 plt.xlabel("Время (с)")
80 plt.ylabel("y (м)")
81 plt.grid()
82
83 plt.tight_layout()
84 plt.show()
85

```

7. Графики



8. Выводы и анализ результатов работы.

Минимальное напряжение для удержания электрона внутри конденсатора рассчитано и составляет **$V_{\min} = 23.84$ В**.

Построенные графики подтверждают правильность вычислений и показывают динамику движения электрона.

Данный подход может быть использован для анализа поведения заряженных частиц в электромагнитных системах.