

---

Группа Р3209

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Кулагин Вячеслав

Работа выполнена 10/10/2024

Преподаватель Агабабаев В. А.

Отчет принят \_\_\_\_\_

## **Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.02**

---

### **Д в и ж е н и е   н а   н а к л о н н о й   п л о с к о с т и**

---

## 1. Цель работы.

Экспериментально проверить равноускоренность движения тележки по наклонной плоскости и определить ускорение свободного падения  $g$

## 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Измерение времени движения тележки по рельсу с фиксированным углом наклона
2. Измерение времени движения тележки по рельсу при разных углах наклона рельса к горизонту
3. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса.  
Проверка равноускоренности движения тележки
4. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту.  
Определение свободного падения

## 3. Объект исследования.

Ускорение тележки при различных углах наклона

## 4. Метод экспериментального исследования.

Измерение времени, за которое тележка проходит определенное расстояние по наклонной плоскости, изменяя угол наклона

## 5. Рабочие формулы и исходные данные.

- $Y = x_2 - x_1$
- $Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$
- $\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2}$
- $\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{df_2}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{df_2}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2}$
- $\varepsilon_Y = \frac{\Delta Y}{Y} \cdot 100\% \quad \varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\%$
- $a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}}$
- $\Delta a = 2\sigma_a \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$
- $\sin \alpha = \frac{(h-h_0)-(h'-h'_0)}{x'-x}$
- $\langle a \rangle = \frac{2(x_2-x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$
- $\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{h2})^2 + (\Delta x_{h1})^2}{(x_2-x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$
- $B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i\right)^2}$
- $A = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i\right)$

- $\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N-2)}}$
- $\Delta_g = 2\sigma_g \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\%$
- $\langle t \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$
- $\Delta t = \sqrt{(\frac{df_3}{dt_1} \cdot \Delta t_1)^2 + (\frac{df_3}{dt_2} \cdot \Delta t_2)^2 + (\frac{df_3}{dt_3} \cdot \Delta t_3)^2 + (\frac{df_3}{dt_4} \cdot \Delta t_4)^2 + (\frac{df_3}{dt_5} \cdot \Delta t_5)^2}$
- $\alpha = 0,90$
- $N = 5$
- $g_{\text{табл}} = 9,82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
- 

## 6. Измерительные приборы.

Таблица 1: Измерительные приборы

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_{\text{и}}$
Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	—	5 мм
Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/дел	—	0,5 мм
ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0,1 с	—	0,1 с

**7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).**

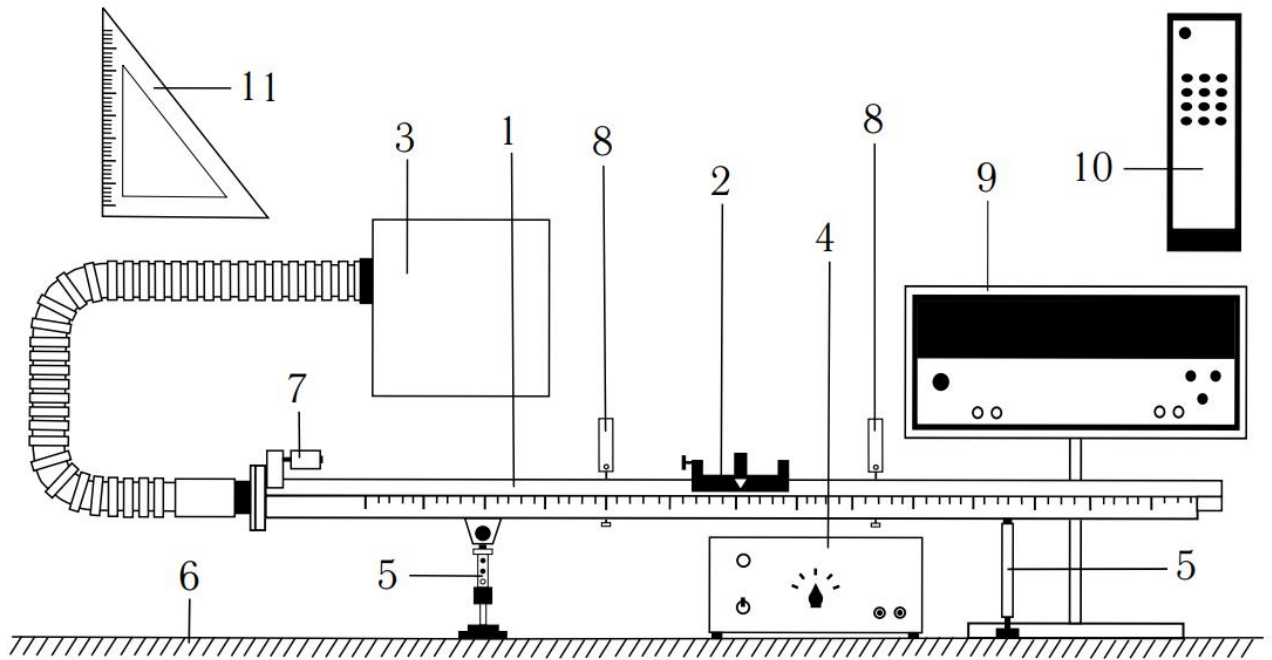


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

1. Рельс с сантиметровой шкалой на лицевой стороне
2. Тележка
3. Воздушный насос
4. Источник питания насоса ВС 4-12
5. Опоры рельса
6. Опорная плоскость (поверхность стола)
7. Фиксирующий электромагнит
8. Оптические ворота
9. Цифровой измерительный прибор ПКЦ-3
10. Пульт дистанционного управления прибором ПКЦ-3
11. Линейка — угольник

**8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).****Задание 1.** Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса.

Проверка равноускоренности движения тележки

Таблица 2

$x$ , м	$x'$ , м	$h_0$ , мм	$h'_0$ , мм
$0,22 \pm 0,005$	$1,00 \pm 0,005$	$186 \pm 0,5$	$187 \pm 0,5$

Таблица 3: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	$x_1$ , м	$x_2$ , м	$t_1$ , с	$t_2$ , с	$Y = x_2 - x_1$ , м	$Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{с}^2$
1	0,15	0,40	1,10	2,30	$0,25 \pm 0,005$	$2,04 \pm 0,09$
2	0,15	0,50	1,10	2,60	$0,35 \pm 0,005$	$2,78 \pm 0,09$
3	0,15	0,70	1,10	3,20	$0,55 \pm 0,005$	$4,52 \pm 0,09$
4	0,15	0,90	1,10	3,70	$0,75 \pm 0,005$	$6,24 \pm 0,09$
5	0,15	1,10	1,10	4,20	$0,95 \pm 0,005$	$8,22 \pm 0,09$

**Задание 2.** Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения

Таблица 4: Результаты прямых измерений (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$h$ , мм	$h'$ , мм	№	$t_1$ , с	$t_2$ , с
1	196	187	1	1,10	4,20
			2	1,10	4,20
			3	1,10	4,30
			4	1,10	4,30
			5	1,20	4,30
2	205	187	1	0,90	3,10
			2	0,80	3,00
			3	0,90	3,10
			4	0,80	3,00
			5	0,80	3,00
3	214	188	1	0,70	2,50
			2	0,60	2,50
			3	0,70	2,50
			4	0,70	2,50
			5	0,70	2,50
4	224	188	1	0,60	2,10
			2	0,60	2,20
			3	0,60	2,10
			4	0,70	2,20
			5	0,70	2,20
5	234	188	1	0,50	1,90
			2	0,50	1,90
			3	0,50	1,90
			4	0,50	1,90
			5	0,50	1,90

 $N_{\text{пл}}$  — количество пластин $h$  — высота на координате  $x = 0,22$  м $h'$  — высота на координате  $x' = 1,00$  м

## 9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \times Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \approx \frac{16,45}{138,67} \approx 0,12 \text{ М/с}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \approx \sqrt{\frac{1,67 \times 10^{-3}}{554,68}} = 0,00173$$

### Задание 2

Таблица 5: Результаты расчетов (Задание 2)

$N_{\text{ПЛ}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{с}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \text{М/с}^2$
1	0,01282	$1,120 \pm 0,055$	$4,260 \pm 0,058$	$0,112 \pm 0,003$
2	0,02435	$0,840 \pm 0,058$	$3,040 \pm 0,058$	$0,223 \pm 0,010$
3	0,03461	$0,680 \pm 0,055$	$2,500 \pm 0,050$	$0,328 \pm 0,015$
4	0,04744	$0,640 \pm 0,058$	$2,160 \pm 0,058$	$0,446 \pm 0,028$
5	0,06026	$0,500 \pm 0,050$	$1,900 \pm 0,050$	$0,568 \pm 0,033$
$N_{\text{ПЛ}}$ – количество пластин $\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{1i,2i}$				

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} \approx 9,5714$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left( \sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) \approx -0,0085$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N-2)}} \approx 1,1567$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 2 \times 1,15 = 2,3 \text{ М/с}^2$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% \approx 24\%$$

## 10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Для  $x_2 - x_1$ :

$$\Delta x_1 = \frac{2}{3} * 0.0005 = 0.00033\text{м}, \Delta x_2 = \frac{2}{3} * 0.0005 = 0.00033\text{м}$$

$$\Delta_l = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2} = \sqrt{0.00033^2 + 0.00033^2} = 0.0005\text{м}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta_l}{x_2 - x_1} * 100\% = \frac{0.0005}{0.25} * 100 = 0.2\% \quad x_2 - x_1 = (0.25 \pm 0.0005)$$

$$x_2 - x_1 = (0.25 \pm 0.0005)\text{м} \quad \varepsilon_l = 0.2\% \quad \alpha = 0.95$$

Для  $\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$ :

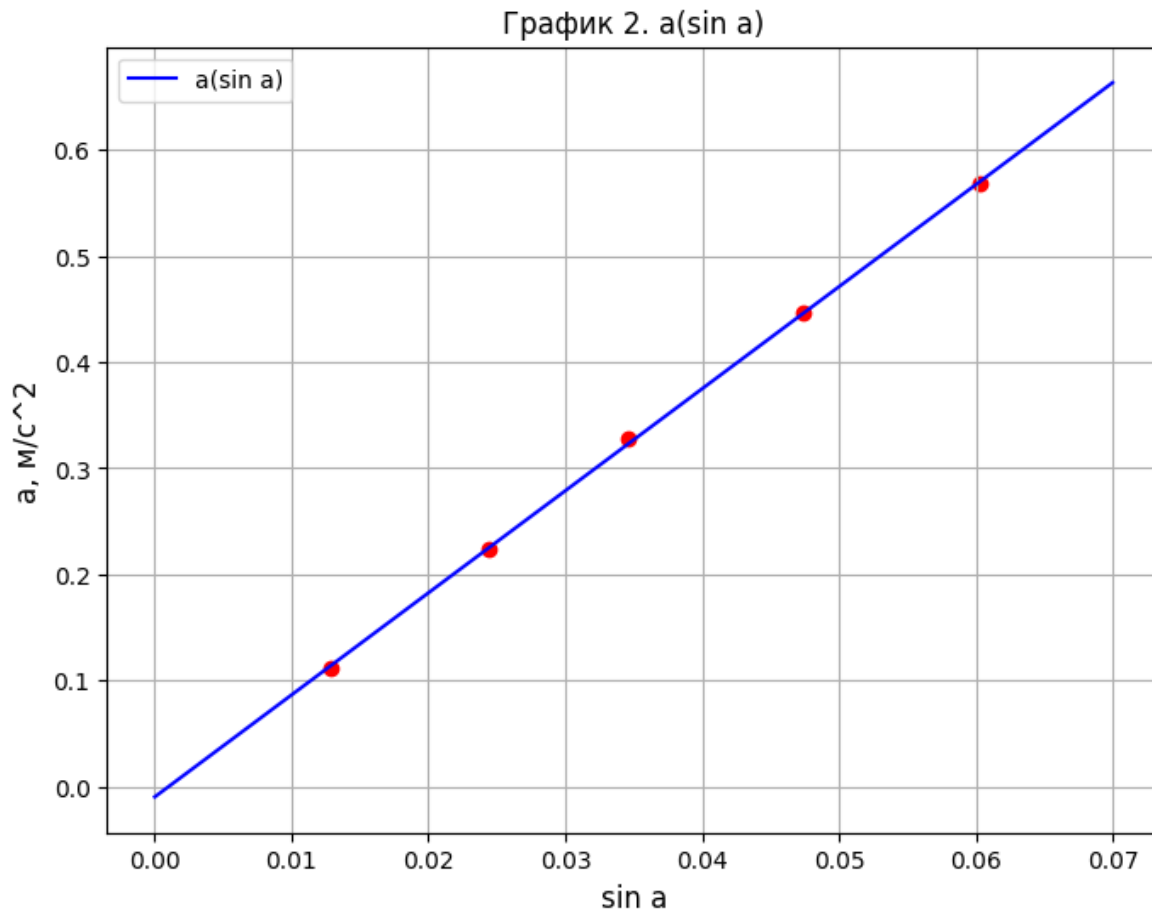
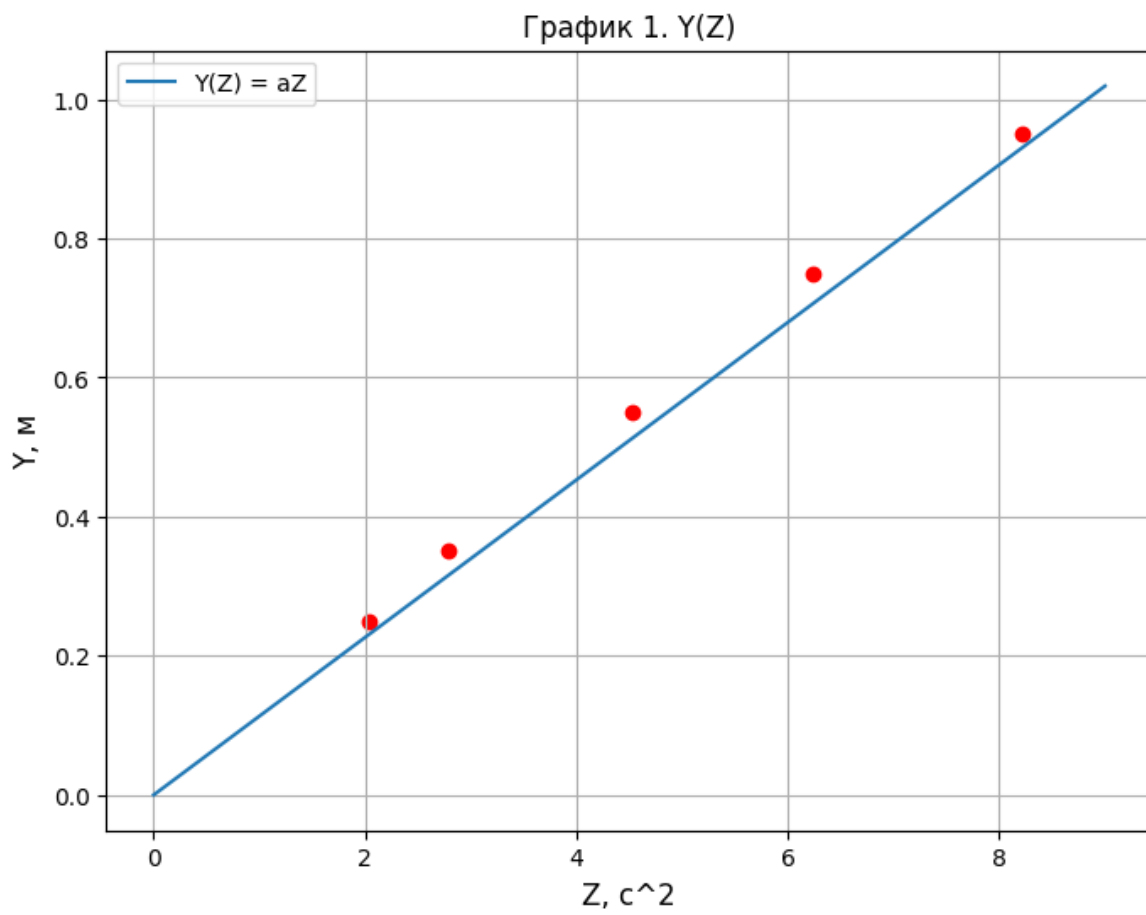
$$\Delta t = \frac{2}{3} * 0.1 = 0.067 \text{ с}$$

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2} = 0.09 \text{ с}$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta_t}{\frac{\Delta t_1^2 - \Delta t_2^2}{2}} * 100\% \approx 4.4\%$$

$$\frac{\Delta t_1^2 - \Delta t_2^2}{2} = (2.04 \pm 0.09) \text{ с} \quad \varepsilon_t = 4.4\% \quad \alpha = 0.95$$

## 11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).





## 12. Окончательные результаты.

$$\Delta a = 2\sigma = 0,003$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} * 100\% \approx 2,5\%$$

$$\text{Табличное значение } g_{\text{табл}} = 9,8195$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 0,2481 \text{ М/с}^2$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} * 100\% = 2,52\%$$

$$\frac{\Delta t_1^2 - \Delta t_2^2}{2} = (2,04 \pm 0,09) \text{ с } \varepsilon_t = 4,4\% \alpha = 0,95$$

$$x_2 - x_1 = (0.25 \pm 0.0005) \text{ м } \varepsilon_l = 0.2\% \alpha = 0.95$$

$$a = 0,12 \pm 0,01 \text{ М/с}^2 \quad \varepsilon_a = 2,5\% \quad \alpha = 0,95$$

$$g = 9,57 \pm 1,00 \text{ М/с}^2 \quad \varepsilon_a = 2,52\% \quad \alpha = 0,95$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе исследования движения тележки по наклонной плоскости, построены графики, которые имеют линейный характер, из этого следует, что движение является равноускоренным.

Абсолютная погрешность сопоставима с отклонением от табличного значения  $g$  для Санкт-Петербурга.