

Группа \_\_\_\_\_ Р3207 \_\_\_\_\_ К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ Путинцев Данил Денисович \_\_\_\_\_ Работа выполнена \_\_\_\_\_ 09.10.2024 \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ Агабабаев В. А \_\_\_\_\_ Отчет принят \_\_\_\_\_

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

---

### **Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости**

---

## Цели работы.

1. Экспериментальная проверка равноускоренности движения тележки по наклонной плоскости.
2. Определение величины ускорения свободного падения  $g$ .

## 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 ускорения свободного падения.

## Объект исследования.

Ускорение тележки при различных углах наклона.

## Метод экспериментального исследования.

Измерение времени, за которое тележка проходит заданное расстояние по наклонной плоскости при различных углах наклона.

## Рабочие формулы и исходные данные.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i * Y_i}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad \sin a = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - a Z_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n Z_i^2}} \quad \langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$$

$$\Delta a = \langle a \rangle \sqrt{\frac{(\Delta x_{u2})^2 + (\Delta x_{u1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$$

$$B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin a_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2} \quad A = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin a_i)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}}, \quad \text{где } d_i = a_i - (A + B \sin a_i), \quad D = \sum_{i=1}^N \sin a_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2$$

$$\Delta g = 2 \sigma_g$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\%$$

## Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	5 мм
2	Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/дел	0.5 мм
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0.1 с	0.1 с

## Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1). Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на Рис.2.

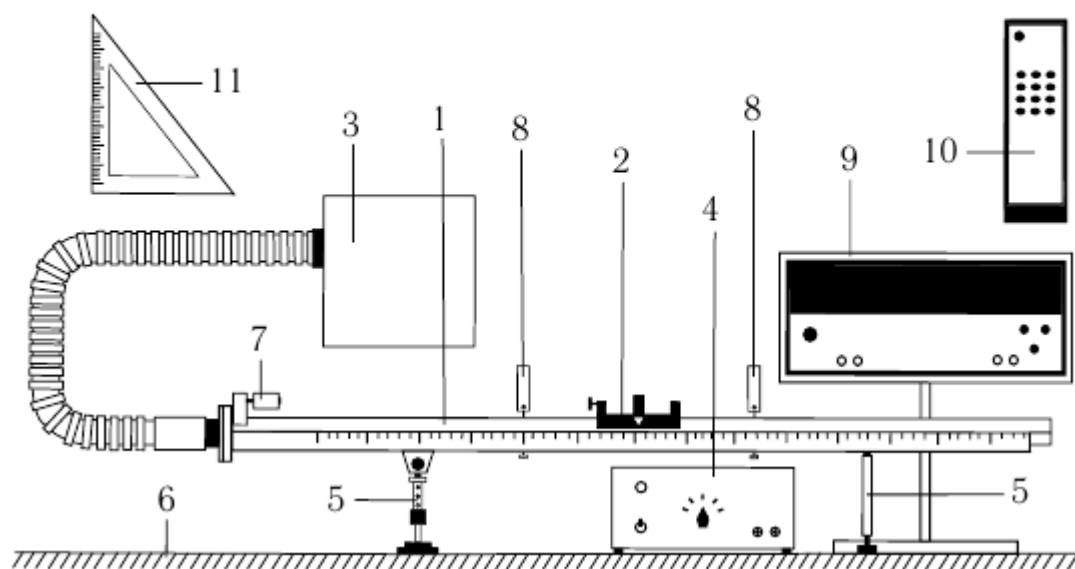


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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

## Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

х, м	х', м	h <sub>0</sub> , мм	h' <sub>0</sub> , мм
0.22 ± 0.005	1 ± 0.005	206 ± 0.5	210 ± 0.5

Таблица 1: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x <sub>1</sub> , м	x <sub>2</sub> , м	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , м	x <sub>2</sub> - x <sub>1</sub> , м (Y)	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, c^2$ (Z)
1	0,15	0,4	1,3	2,3	0,25 ± 0.005	1,8 ± 0.09
2	0,15	0,5	1,2	2,6	0,35 ± 0.005	2,66 ± 0.09
3	0,15	0,7	1,2	3,1	0,55 ± 0.005	4,085 ± 0.09
4	0,15	0,9	1,3	3,7	0,75 ± 0.005	6 ± 0.09
5	0,15	1,1	1,3	4,1	0,95 ± 0.005	7,56 ± 0.09

Таблица 2: Результаты прямых измерений (Задание 2)

N <sub>пл</sub>	h, мм	h', мм	№	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с
1	216	210	1	1,2	4,1
			2	1,2	4,1
			3	1,2	4,1
			4	1,2	4,1
			5	1,2	4,1
2	226	210	1	0,9	3,0
			2	0,9	2,9
			3	0,9	3,0
			4	0,8	2,9
			5	0,9	3,0
3	236	210	1	0,7	2,4
			2	0,7	2,4
			3	0,7	2,4
			4	0,7	2,4
			5	0,7	2,4

4	246	210	1	0,6	2,1
			2	0,6	2,1
			3	0,6	2,1
			4	0,6	2,1
			5	0,7	2,1
5	255	210	1	0,6	1,9
			2	0,6	1,9
			3	0,5	1,9
			4	0,6	2,0
			5	0,7	2.1

$N_{\text{пл}}$  — количество пластин

$h$  — высота на координате  $x = 0,22$  м

$h'$  — высота на координате  $x'= 1,00$  м

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

### Задание 1

Найдем ускорение тележки методом наименьших квадратов (МНК):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i * Y_i}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} = 0.127 \text{ м/с}^2$$

Найдем среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - aZ_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n Z_i^2}} = 8.89 * 10^{-5} \text{ м/с}^2$$

### Задание 2

Таблица 3: Результаты расчетов (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$\sin a$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{ с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{ с}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \text{ м/с}^2$
1	0.0128	$1.2 \pm 0$	$4.1 \pm 0$	$0.104 \pm 0.00078$
2	0.026	$0.88 \pm 0.056$	$2.96 \pm 0.068$	$0.199 \pm 0.029$
3	0.038	$0.7 \pm 0$	$2.4 \pm 0$	$0.304 \pm 0.023$
4	0.05	$0.62 \pm 0.056$	$2.1 \pm 0$	$0.396 \pm 0.014$
5	0.06	$0.6 \pm 0.088$	$1.96 \pm 0.11$	$0.452 \pm 0.108$

$N_{\text{пл}}$  - количество пластин

$$\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n t_{1,2_i}$$

5. Найдем коэффициенты линейной зависимости по формулам:

$$B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2} = 7.558 \text{ м/с}^2$$

$$A = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin a_i \right) = 0.0086$$

6. Рассчитаем СКО для ускорения свободного падения (коэффициента В) по формуле:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0.95 \text{ м/с}^2, \text{ где } d_i = a_i - (A + B \sin a_i), \quad D = \sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2$$

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

Погрешность для  $x_2 - x_1$ :

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

Абсолютная погрешность равна:

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

Относительная погрешность равна:

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

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

Погрешность для  $\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$

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

Абсолютная погрешность равна:

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2} = \sqrt{0.067^2 + 0.067^2} = 0.09 \text{ с}$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta_t}{\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}} * 100\% = \frac{0.09}{1.8} * 100\% = 5\%$$

$$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2} = (1.8 \pm 0.09) \text{ с} \quad \varepsilon_t = 5\% \quad \alpha = 0.95$$

Абсолютная погрешность коэффициента  $a$  (ускорения) для доверительной вероятности  $\alpha = 0.90$

$$\Delta a = 2\sigma_a = 2 * 8.89 * 10^{-5} = 0.00018 \text{ м/с}^2$$

Относительная погрешность ускорения:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} * 100\% = 0.14\%$$

$$a = (0.127 + 0.00018) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_a = 0.14\% \quad \alpha = 0.9$$

Найдем абсолютную погрешность коэффициента для доверительной вероятности  $\alpha = 0.90$

$$\Delta g = 2\sigma_g = 2 * 0.95 = 1.9 \text{ м/с}^2$$

Найдем относительная погрешность  $g$ :

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\% = \frac{1.9}{7.558} * 100\% = 25\%$$

**Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).**

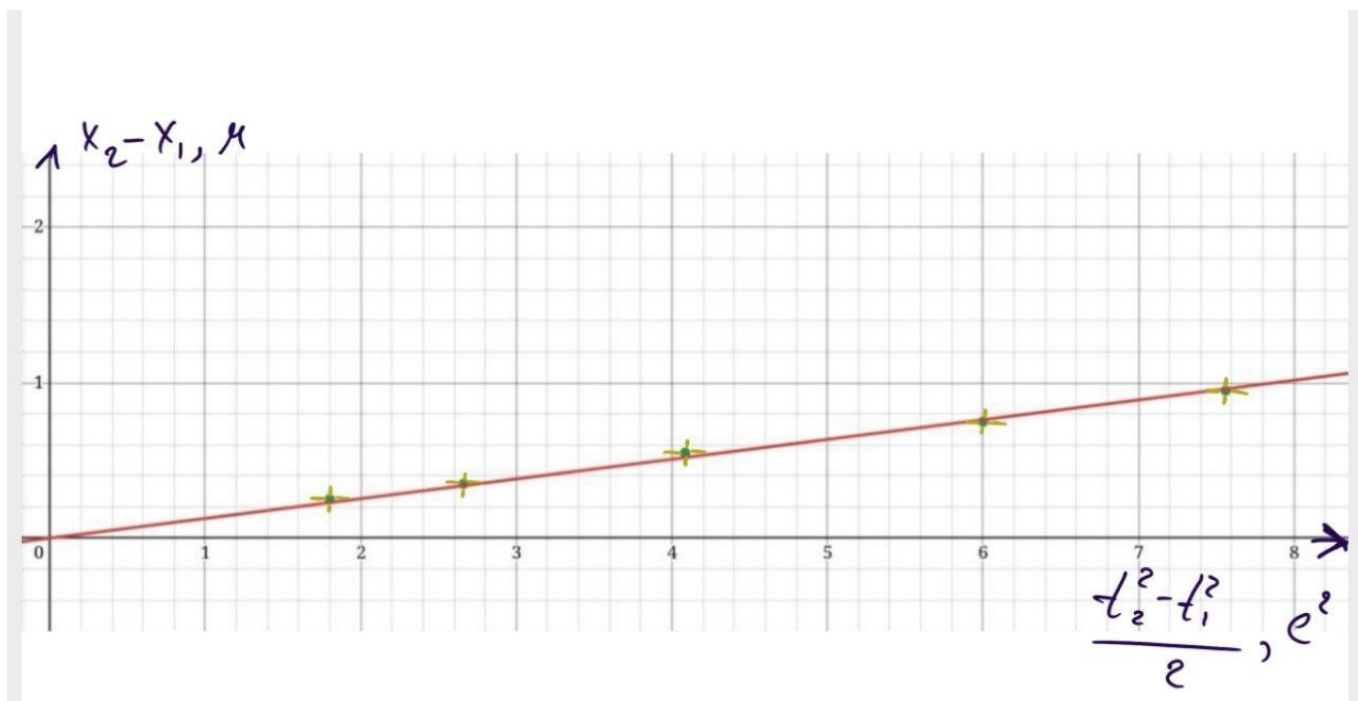


График 1. Зависимость  $Y$  от  $Z$

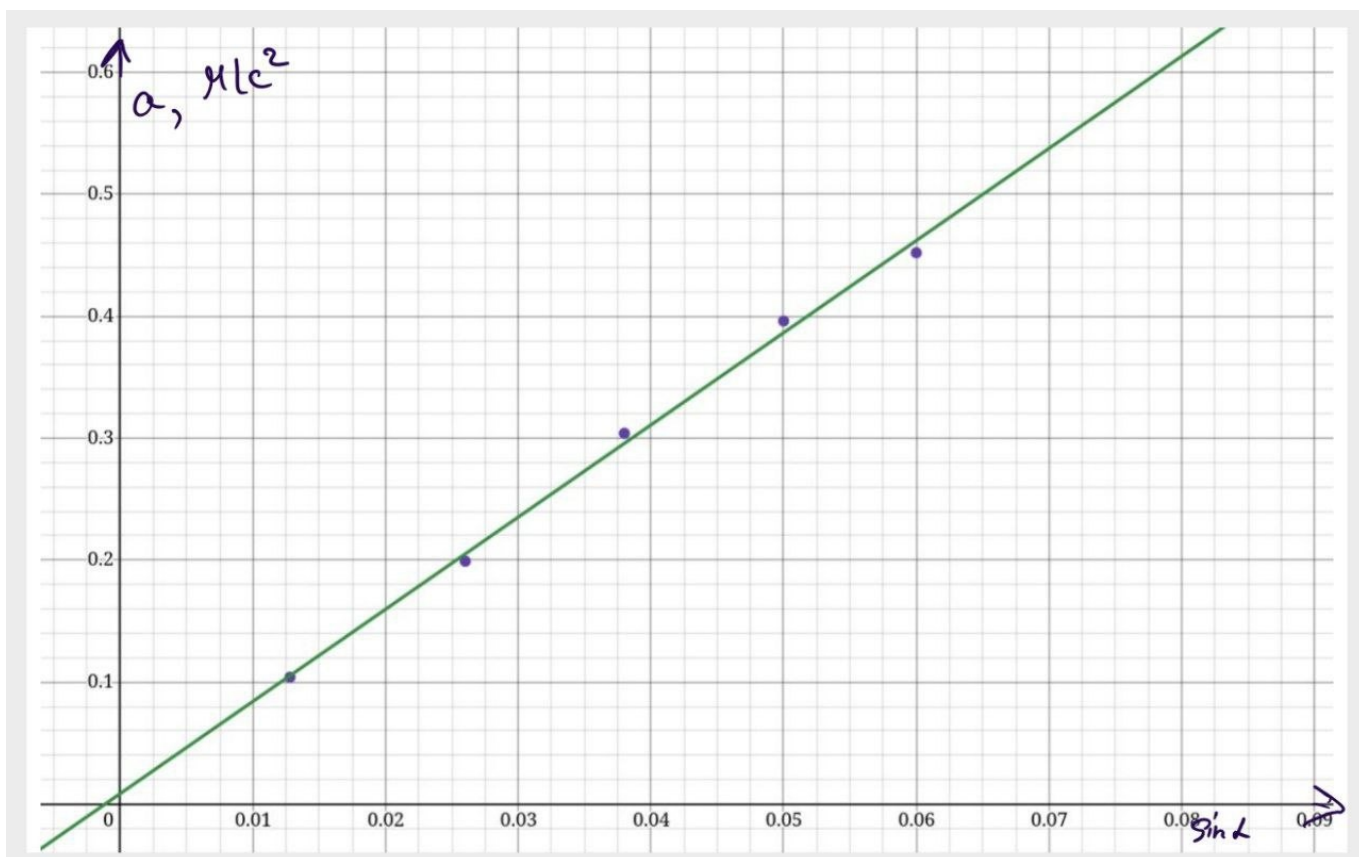


График 2: Зависимость  $a$  от  $\sin(\alpha)$

### Окончательные результаты.

$$a = (0.127 \pm 0.00018) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_a = 0.14\% \quad a = 0.9$$

$$g = (7.558 \pm 1.9) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_g = 25\% \quad a = 0.9$$

$$g_{\text{табл}} = 9,8195 \text{ м/с}^2$$

$$|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = |7.558 - 9.858| = 2.3 \text{ м/с}^2$$

### Выводы и анализ результатов работы.

Да, движение можно считать равноускоренным, так как на графике можно наблюдать линейную зависимость с учетом погрешностей.

Так как разность больше относительной погрешности ( $2.3 > 1.9$ ), а значит, что наш эксперимент недостаточно точный, чтобы рассчитать силу притяжения земли.

Видимо, при расчетах необходимо учитывать силу трения, но в нашем эксперименте мы пренебрегли этим. Поэтому результат получился не точный.