

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

Студенты \_\_\_\_\_ Работа выполнена \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.02

Изучение скольжения тележки по

наклонной поверхности

---

## 1. Цель работы.

1) Экспериментальная проверка равноускоренности движения тележки по наклонной плоскости.

2) Определение величины ускорения свободного падения  $g$ .

## 2. Задачи.

1) Проведение измерений.

2) Обработка результатов измерений.

3) Построение графика по результатам измерений.

## 3. Объект исследования.

Ускорение тележки при различных углах наклона.

## 4. Метод экспериментального исследования.

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

## 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$Y = x_2 - x_1$$

$$Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2}$$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{df_2}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{df_2}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2}$$

$$\varepsilon_Y = \frac{\Delta Y}{Y} \cdot 100\% \quad \varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\%$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}}$$

$$\Delta a = 2\sigma_a \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$$

$$\sin \alpha = \frac{(h - h_0) - (h' - h'_0)}{x' - x}$$

$$\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$$

$$\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{n2})^2 + (\Delta x_{n1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$$

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

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

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

$$\Delta_g = 2\sigma_g \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\%$$

$$\langle t \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$$

$$\Delta t = \sqrt{\left(\frac{df_3}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_3} \cdot \Delta t_3\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_4} \cdot \Delta t_4\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_5} \cdot \Delta t_5\right)^2}$$

$$\alpha = 0,90$$

$$N = 5$$

$$g_{\text{табл}} = 9,82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

## 6. Измерительные приборы.

**Таблица 1: Измерительные приборы**

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность
<b>Линейка на рельсе</b>	1,3 м	1 см/дел	-	5,0 мм
<b>Линейка на угольнике</b>	250 мм	1 мм/дел	-	0,5 мм
<b>ПКЦ-3 в режиме секундомера</b>	100 с	0,1 с	-	0,1 с

## 7. Схема установки.

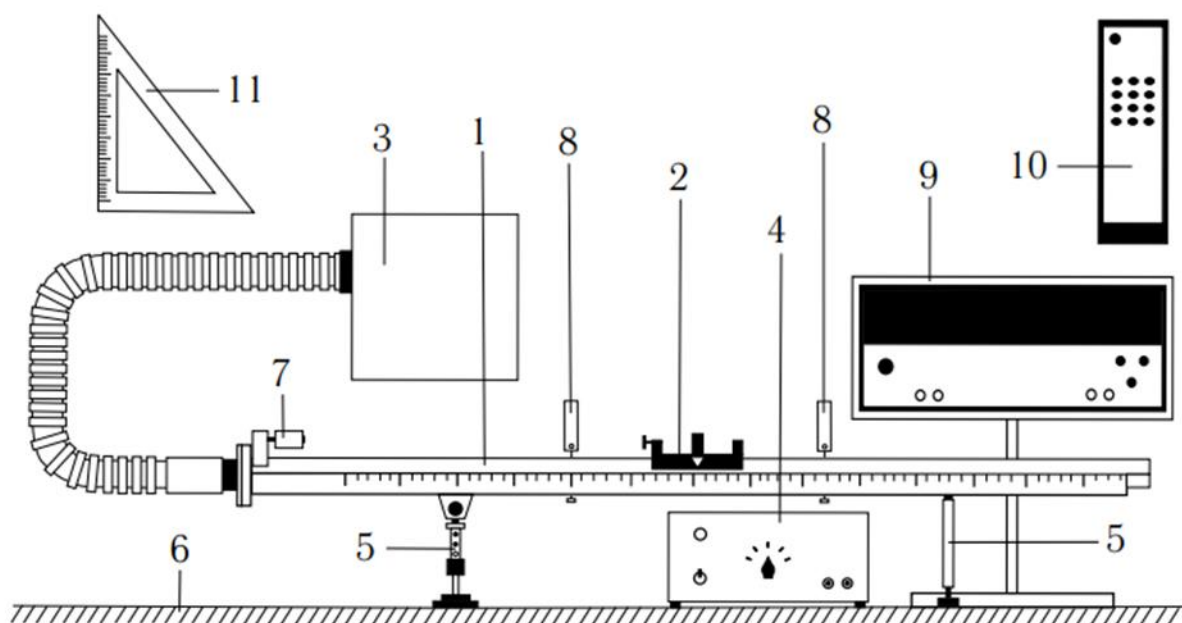


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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.

*Задание 1.* Измерение времени движения тележки по рельсу с фиксированным углом наклона.

**Таблица 2**

<b>x, м</b>	<b>x', м</b>	<b>h<sub>о</sub>, мм</b>	<b>h'<sub>о</sub>, мм</b>
0,22 ± 0,005	1,00 ± 0,005	174 ± 0,5	174 ± 0,5

**Таблица 3:** Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины		Погрешности	
	$x_1, \text{м}$	$x_2, \text{м}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$Y = x_2 - x_1, \text{м}$	$Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{с}^2$	$\Delta Y, \text{м}$	$\Delta Z, \text{с}^2$
1	0,15	0,40	2,10	3,30	0,25	3,24	0,007	0,391
2	0,15	0,50	1,40	2,90	0,35	3,225	0,007	0,322
3	0,15	0,70	1,30	3,40	0,55	4,935	0,007	0,364
4	0,15	0,90	1,40	4,10	0,75	7,425	0,007	0,433
5	0,15	1,10	1,30	4,50	0,95	9,28	0,007	0,468

*Задание 2:* Измерение времени движения тележки по рельсу при разных углах наклона рельса к горизонту

**Таблица 4:** Результаты прямых измерений (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$h, \text{мм}$	$h', \text{мм}$	№	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$
1	183	175	1	1,40	4,60
			2	1,40	4,60
			3	1,40	4,60
			4	1,40	4,50
			5	1,40	4,60
2	194	176	1	1,00	3,20
			2	1,00	3,20
			3	1,00	3,20
			4	1,00	3,20

			5	0,90	3,20
3	202	177	1	0,70	2,50
			2	0,80	2,60
			3	0,80	2,60
			4	0,70	2,60
			5	0,80	2,60
4	211	178	1	0,70	2,20
			2	0,60	2,20
			3	0,70	2,30
			4	0,60	2,30
			5	0,70	2,20
5	221	178	1	0,60	2,00
			2	0,60	2,00
			3	0,50	2,00
			4	0,60	2,00
			5	0,60	2,00
$N_{\text{ПД}}$ – количество пластин					
$h$ – высота на координате $x = 0,22$ м					
$h'$ – высота на координате $x' = 1,00$ м					

## 9. Расчет результатов косвенных измерений.

### Задание 1

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = \frac{19,03775}{186,501475} \cong 0,102 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = \sqrt{\frac{0,00916}{746,0059}} \cong 0,0035 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta a = 2\sigma_a = 0,007 \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\% = 6,86\%$$

### Задание 2

**Таблица 5:** Результаты расчетов (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{с}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1	0,01026	$1,400 \pm 0,100$	$4,580 \pm 0,110$	$0,100 \pm 0,060$
2	0,02308	$0,980 \pm 0,110$	$3,200 \pm 0,100$	$0,205 \pm 0,016$
3	0,03205	$0,760 \pm 0,116$	$2,580 \pm 0,110$	$0,313 \pm 0,032$
4	0,04231	$0,660 \pm 0,116$	$2,200 \pm 0,110$	$0,423 \pm 0,048$
5	0,05513	$0,580 \pm 0,110$	$2,000 \pm 0,100$	$0,519 \pm 0,030$

$N_{\text{пл}}$  – количество пластин

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

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = 9,6403 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left( \sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = -0,00218$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N-2)}} = 0,463 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 0,17 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 1,73\%$$

## 10. Расчет погрешностей измерений.

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0,007 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 6,86\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 0,926 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

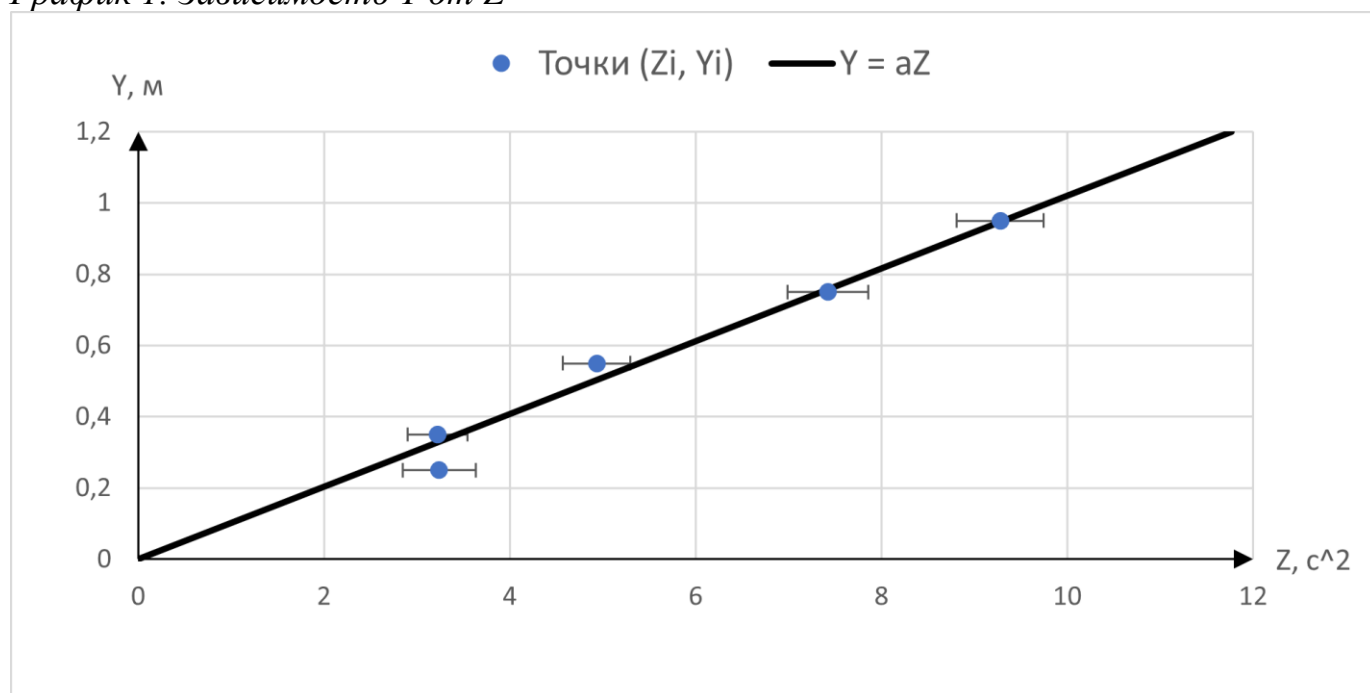
$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = 9,44\%$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2} = 0,007 \text{ м}$$

## 11. Графики.

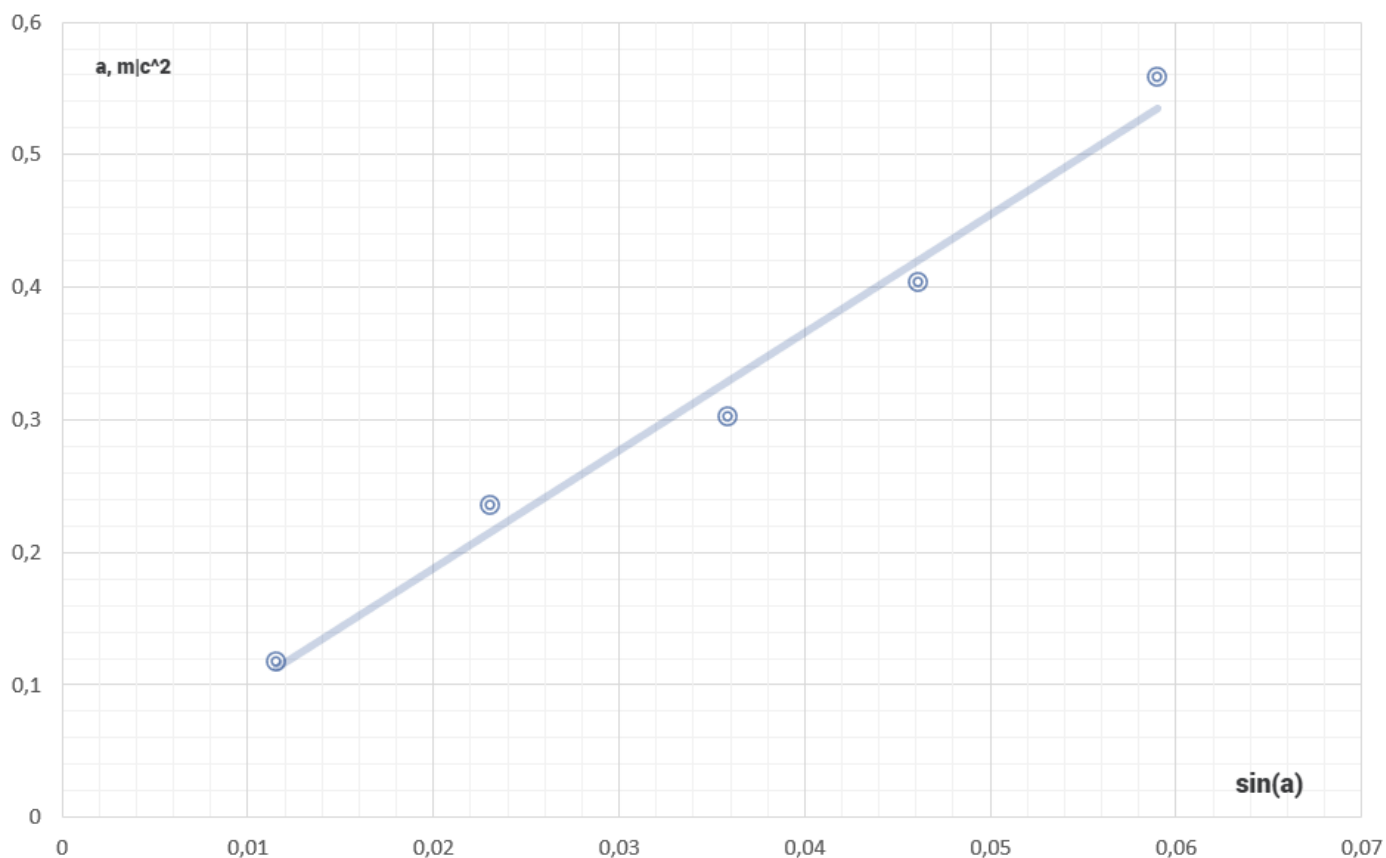
### Задание 1

График 1. Зависимость  $Y$  от  $Z$



### Задание 2

График 2. Зависимость  $a$  от  $\sin \alpha$



## 12. Окончательные результаты.

$$a = 0,102 \pm 0,007 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_a = 6,86\%$$

$$g = 9,640 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_g = 9,44\%$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 0,17 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 1,73\%$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы было измерено время движения тележки по наклонному рельсу при различных углах наклона. На основе экспериментальных данных проведены соответствующие расчёты.

Построенный график зависимости  $Y(Z)$  демонстрирует её линейный характер. Это подтверждает, что движение тележки по наклонной плоскости является равноускоренным.

Сравнение результатов расчётов показало существенное расхождение между: отклонением экспериментального значения от табличного  $|g - g_{\text{табл}}| = 0,17$

Указанные расхождения скорее всего обусловлены следующим фактором: ограниченным количеством проведённых измерений, что не позволило получить более точные результаты