

Группа Р3114 \_\_\_\_\_ К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Лагус М.С. \_\_\_\_\_ Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Куксова П.А. \_\_\_\_\_ Отчет принят \_\_\_\_\_

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

Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

---

## **1. Цель работы**

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

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

- 1) Понять является ли движение тележки равноускоренным.
- 2) Если движение тележки является равноускоренным, вычислить ускорение со всеми погрешностями.
- 3) Построить график, где в роле углового коэффициента выступает ускорение ( $Y=aZ$ ).
- 4) Понять поведение ускорения при изменении угла наклона плоскости.
- 5) Сформулировать и записать в отчет вывод о достоверности результатов измерений.

## **3. Объект исследования**

Тележка на направляющем рельсе.

## **4. Метод экспериментального исследования**

Лабораторный метод исследования, будут использоваться измерительные приборы.

## **5. Рабочие формулы и исходные данные**

$$Y = x_2 - x_1 ; Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2} ; a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} ; \Delta_a = 2\sigma_a ; \varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} * 100\%$$

$$\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h'_1)}{x'_1 - x} ; \langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$$

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

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

$$A = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right); \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}}$$

$$d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i); \Delta_{\bar{x}} = t_{a,n} S_{\bar{x}}$$

$$D = \sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2; \langle t \rangle = \frac{\sum_1^5 t_i}{5}$$

$$\Delta g = 2\sigma_g; \varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\%; S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta_{ux}\right)^2}$$

## 6. Измерительные приборы

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_n$
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

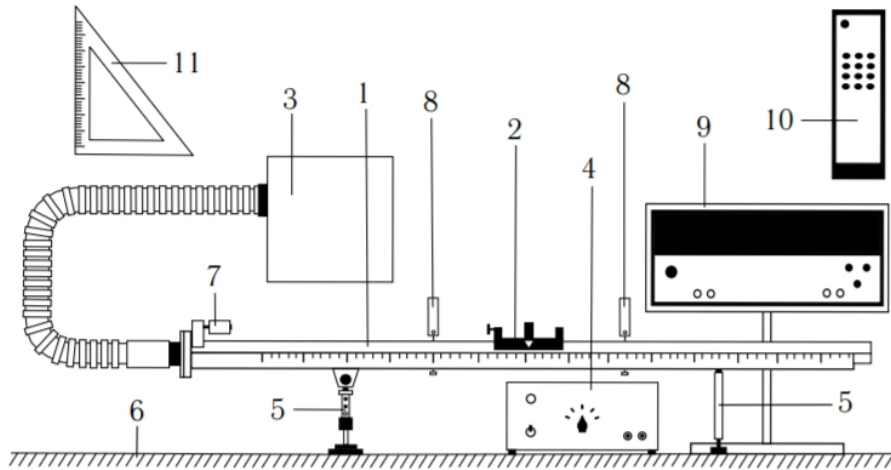


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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

Таблица 2

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_0, \text{ мм}$	$h'_0, \text{ мм}$
$0,22 \pm 0,05, \varepsilon = 22\%$	$1,00 \pm 0,05, \varepsilon = 5\%$	$182 \pm 0,5, \varepsilon = 0.27\%$	$181 \pm 0,5, \varepsilon = 0.27\%$

Таблица 3

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	$x_1, \text{ м}$	$x_2, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$x_2 - x_1, \text{ м}$	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{ с}^2$
1	0,15	0,40	1,60	3,20	$0,25 \pm 0,07, \varepsilon = 28\%$	$3,84 \pm 0,02, \varepsilon = 0,57\%$
2	0,15	0,50	1,40	3,10	$0,35 \pm 0,07, \varepsilon = 20\%$	$3,82 \pm 0,02, \varepsilon = 0,55\%$
3	0,15	0,70	1,70	5,60	$0,55 \pm 0,07, \varepsilon = 12\%$	$9,13 \pm 0,03, \varepsilon = 0,27\%$
4	0,15	0,90	1,70	5,10	$0,75 \pm 0,07, \varepsilon = 9.3\%$	$11,56 \pm 0,03, \varepsilon = 0,22\%$

5	0,15	1,10	1,40	4,90	$0,95 \pm 0,07, \varepsilon = 7.3\%$	$11,0.3 \pm 0,03, \varepsilon = 0,25\%$
---	------	------	------	------	--------------------------------------	---

**Таблица 4**

N пл	h, мм	h', мм	N <sub>о</sub>	t1, с	t2, с
1	144	149	1	1,1	4,2
			2	1,2	4,3
			3	1,2	4,3
			4	1,2	4,3
			5	1,1	4,2
2	135	148	1	0,9	3,1
			2	0,8	3,0
			3	0,8	3,1
			4	0,8	3,0
			5	0,8	3,0
3	126	148	1	0,7	2,5
			2	0,7	2,5
			3	0,8	2,5
			4	0,7	2,4
			5	0,7	2,5
4	117	147	1	0,6	2,1
			2	0,6	2,2
			3	0,7	2,2
			4	0,6	2,1
			5	0,6	2,2
5	108	146	1	0,5	1,9
			2	0,6	1,8
			3	0,5	1,9
			4	0,6	1,9
			5	0,6	1,9

**9. Расчет результатов косвенных измерений (Расчеты велись в программе Excel)**

Задание 1

- 1) Найдем ускорение тележки методом наименьших квадратов. А также найдем среднеквадратичное отклонение.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = 0,072 \frac{м}{с^2} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = 0,006 \frac{м}{с^2}$$

$$\Delta_a = 0.012 \quad \varepsilon_a = 16\%$$

## Задание 2

**Таблица 5:** Результаты расчетов

$N_{\text{пл}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{ c}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{ c}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1	0,011	$1,50 \pm 0,1, \varepsilon = 6\%$	$5,20 \pm 0,1, \varepsilon = 2\%$	$0,076 \pm 0,003, \varepsilon = 4\%$
2	0,021	$0,90 \pm 0,1, \varepsilon = 10\%$	$3,20 \pm 0,1, \varepsilon = 3\%$	$0,200 \pm 0,014, \varepsilon = 7\%$
3	0,033	$0,74 \pm 0,1, \varepsilon = 13\%$	$2,60 \pm 0,1, \varepsilon = 4\%$	$0,300 \pm 0,026, \varepsilon = 8\%$
4	0,044	$0,68 \pm 0,1, \varepsilon = 15\%$	$2,20 \pm 0,1, \varepsilon = 5\%$	$0,420 \pm 0,043, \varepsilon = 10\%$
5	0,056	$0,58 \pm 0,1, \varepsilon = 17\%$	$2,00 \pm 0,1, \varepsilon = 5\%$	$0,510 \pm 0,057, \varepsilon = 11\%$

1) Найдем коэффициенты линейной зависимости  $a = A + B \sin \alpha$

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2} = 9,61 \text{ м/с}^2$$

$$A = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = -0,16 \text{ м/с}^2$$

2) Рассчитаем СКО для ускорения свободного падения (коэффициента B) по формуле:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0,44 \text{ м/с}^2$$

### 10. Расчет погрешностей измерений (Расчеты велись в программе Excel)

Определим абсолютную погрешность ускорения свободного падения:

$$\Delta g = 2\sigma_g = 0,88 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta g}{g} * 100\% = 9\%$$

$$g_{\text{эксн}} = 9,61 \text{ м/с}^2$$

$$g_{\text{табл}} = 9,81 \text{ м/с}^2$$

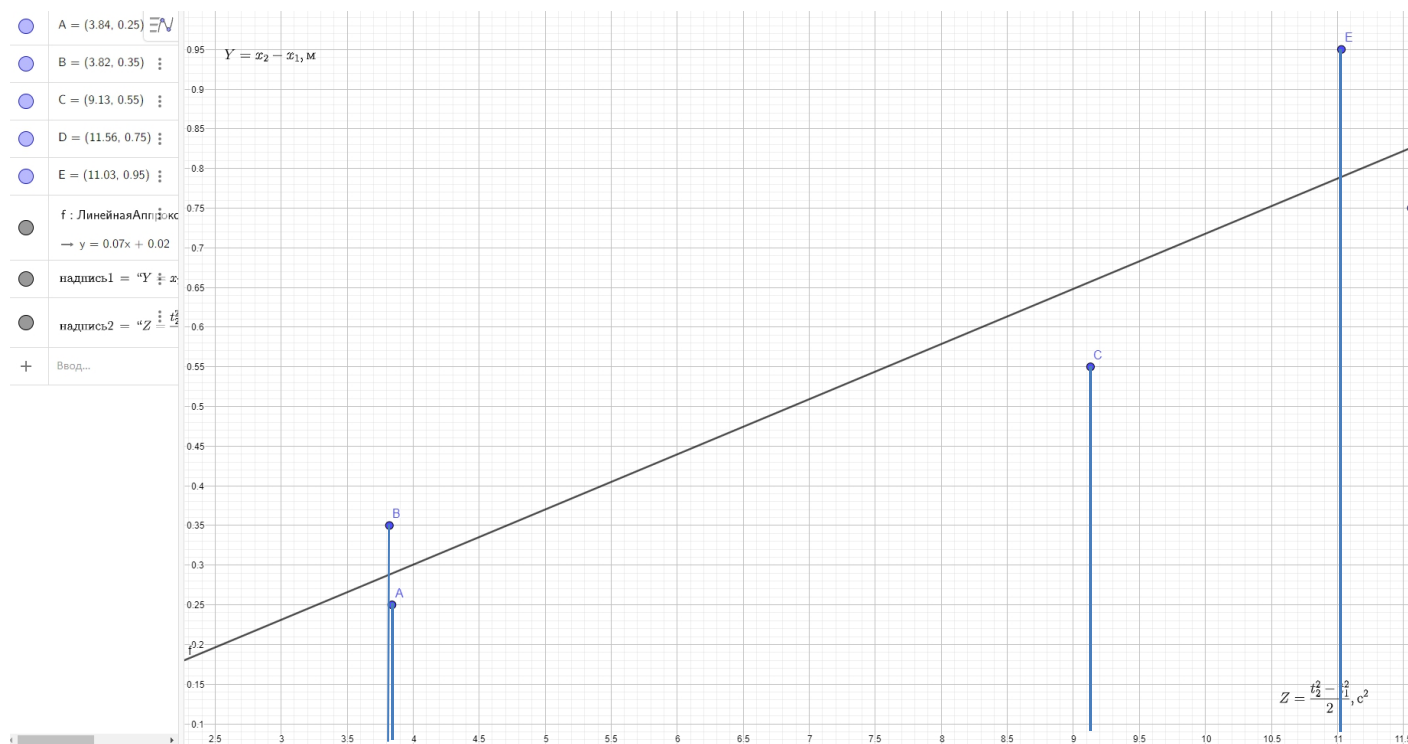
$$g_{\text{откл}} = |-g_{\text{табл}}|$$

$$g_{откл} = |9,61 - 9,81| = 0,20 \text{ м/с}^2$$

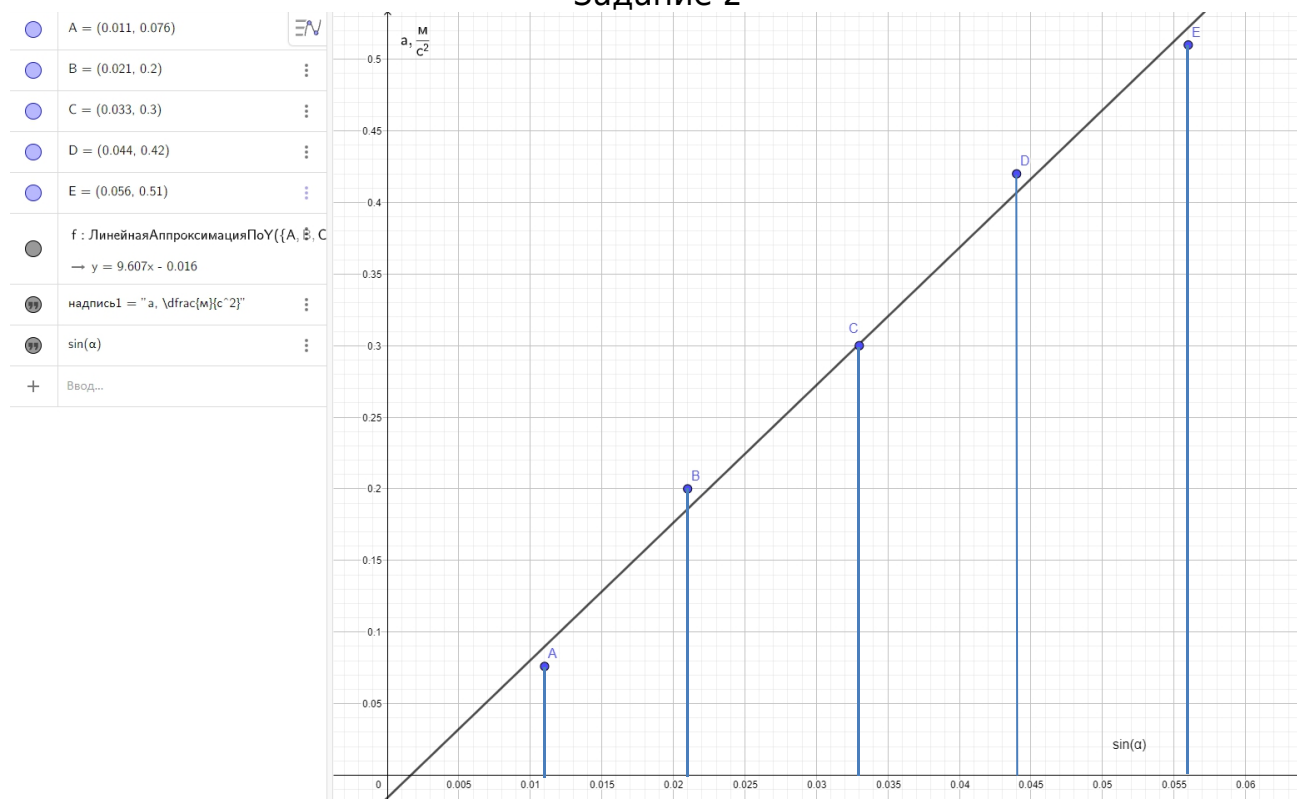


## 11. Графики

### Задание 1 $Y = Y(Z)$



### Задание 2



## 11. Окончательные результаты

1) Графики зависимостей:  $Y=Y(Z)$  (Задание 1);  $a = a(\sin\alpha)$  (Задание 2)

2)  $g = 9,61 \pm 0,88 \text{ м/с}^2$

3)  $g_{откл} = 0,20 \text{ м/с}^2$

## 12. Вывод и анализ результатов работы

Исходя из первого задания, мы не можем полностью утверждать, что движение тележки было равноускоренным, так как экспериментальные значения А, В, С  $\{Y_i; Z_i\}$  отличаются от значений функции  $Y(Z) = aZ$  при тех же аргументах более, чем на 6%(относительная погрешность), а значения D и F удовлетворяют относительной погрешности. Таким образом, было проведено недостаточно измерений, чтобы утверждать равноускоренность тележки. Во втором задании абсолютная погрешность  $\Delta_g$  больше абсолютного отклонения. Таким образом, нельзя утверждать о достоверности проведенных измерений. Но при этом при данных значениях зависимость  $a(\sin\alpha)$  будет иметь линейный вид с учетом абсолютной погрешности

Тележка движется равноускоренно по наклонной поверхности за счёт ускорения свободного падения. При увеличении угла наклона ускорение тележки увеличивается прямо пропорционально. Ускорение свободного падения получилось меньше, чем табличное значение ( $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ) из-за погрешности измерительных приборов, личных погрешностей.