

Группа Р3110

К работе допущен

Студент: Романов Артём

Работа выполнена

Преподаватель: М.П. Коробков

Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №2

---

---

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) 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.

3. Объект исследования.

Движение тележки по наклонному рельсу

4. Метод экспериментального исследования.

Многократное измерение времени движения тележки по рельсу при различном расстоянии между оптическими воротами; при различном угле наклона рельса.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Задание 1.

$$Y = x_2 - x_1$$

$$\Delta a = 2\sigma_a,$$

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

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%.$$

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

## Задание 2.

$$\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad \Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{n2})^2 + (\Delta x_{n1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$$

$$\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2} \quad B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2}$$

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

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

6. Измерительные приборы.

Представлены в таблице 1.

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

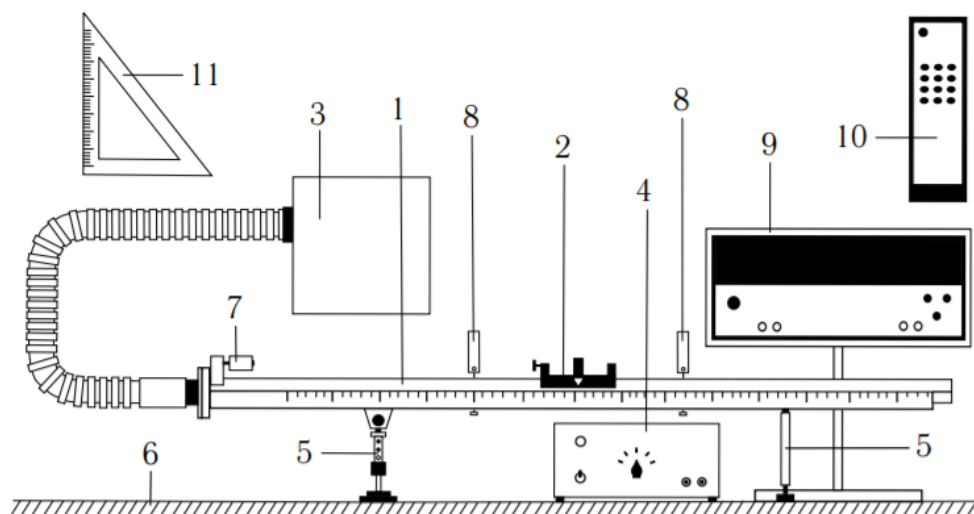


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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).

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

Таблица 2.

$x, \text{м}$	$x', \text{м}$	$h_0, \text{мм}$	$h'_0, \text{мм}$
0,22	1	208	204

Таблица 3: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	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	0,4	1,3	2,4		
2	0,15	0,5	1,8	2,6		
3	0,15	0,7	1,3	3,3		
4	0,15	0,8	1,3	3,4		
5	0,15	1,10	1,3	4,1		

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	208	208	1	1,2	4,0
			2	1,2	4,0
			3	1,4	4,2
			4	1,3	4,0
			5	1,3	4,0
2	225	208	1	1,2	3,3
			2	1,5	3,6
			3	1,3	3,4
			4	1,3	3,4
			5	1,0	3,0
3	236	208	1	1,0	2,6
			2	1,3	3,1
			3	1,0	2,4
			4	0,9	2,6
			5	0,7	2,5
4	245	208	1	1,0	2,5
			2	0,6	2,2
			3	0,6	2,1
			4	0,6	2,4
			5	0,6	2,1
5	254	208	1	0,6	2,0
			2	0,6	2,0
			3	0,5	1,8
			4	0,9	2,9
			5	0,8	2,2

$N_{\text{пл}}$  - количество пластин

$h$  - высота на координате  $x = 0,22 \text{ м}$

$h'$  - высота на координате  $x' = 1,00 \text{ м}$

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

Задание 1:

Расчет ускорения.

$$Y_1 = x_2 - x_1 = 0,4 - 0,15 = 0,25 \text{ м.}$$

$$Z_1 = t \frac{t_2^2 - t_1^2}{2} = \frac{((2,4 \cdot 2,4) - (1,3 \cdot 1,3))}{2} = 2,035 \text{ с}^2$$

$$Y_1 * Z_1 = 0,25 * 2,035 = 0,50875 \text{ м} \cdot \text{с}^2$$

$$Z_1^2 = 0,26 \text{ с}^4$$

$$a = \frac{\sum(Y_i * Z_i)}{\sum(Z_i * Z_i)} \approx 0,20 \text{ м} / \text{с}^2$$

Результаты всех вычислений:

$Y_i, \text{ м}$	$Z_i, \text{ с}^2$	$Y_i * Z_i, \text{ м} \cdot \text{с}^2$	Сумм( $Y_i * Z_i$ ), $\text{м} \cdot \text{с}^2$	$Z_i^2, \text{ с}^4$	$a, \text{ м} / \text{с}^2$
0,25	2,035	0,50875	15,608	0,258826563	0,196876656
0,35	2,535	0,88725		0,787212563	
0,55	4,6	2,53		6,4009	
0,75	6	4,5		20,25	
0,95	7,56	7,182		51,581124	

### Задание 2:

Расчёт угла наклона рельса к горизонту и ускорения.

$$\sin \alpha = \frac{h_0 - h_1 - (h'_0 - h'_1)}{x' - x} = \frac{h'_{0\text{факт}} - h'_{1\text{факт}} - (h_{0\text{факт}} - h_{1\text{факт}})}{x' - x} = 0,0012^\circ$$

$$\langle t_1 \rangle_{(1)} = \frac{\sum_1^5 t_1}{5} = \frac{6,4}{5} = 1,28 \text{ с}$$

$$\langle t_2 \rangle_{(1)} = \frac{\sum_1^5 t_2}{5} = \frac{20,2}{5} = 4,04 \text{ с}$$

$$\langle a \rangle_{(1)} = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t \rangle_{(1)}^2 - \langle t \rangle_1^2} = \frac{0,5}{14,69} = 0,03 \text{ м} / \text{с}^2$$

Результаты для остальных расчетов представлены в приложении №1 (табл.5)

Расчет коэффициентов А и В:

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i * \sin \alpha_i - \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N a_i * \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = \frac{0,0138312}{0,0018374} = 7,52 \text{ м} / \text{с}^2$$

$$A = \frac{1}{N} * (\sum_{i=1}^N a_i - B * \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i) = \frac{1}{5} * (-0,15) = -0,03 \text{ м} / \text{с}^2$$

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

### Задание 1:

Расчет погрешности для ускорения.

$$(Y_1 - a * (Z_1))^2 = (0,25 - 0,2 * 2,035)^2 = 0,022 \text{ м}^2$$

$$\sigma a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a(Z_i))^2}{N-1(\sum_{i=1}^N (Z_i)^2)}} = 0,045 \text{ м} / \text{с}^2$$

$$\Delta a = 2\sigma a = 0,09 \text{ м} / \text{с}^2$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} = \frac{0,09}{0,2} = 0,45$$

Результаты всех вычислений:

$(Y_i - a \cdot Z_i)^2, \text{ м}^2$	Сумма C25-C29	число изм N	среднее отклонение сигма, м/с <sup>2</sup>
0,022693614	0,647239973	5	0,045177912
0,022225539			
0,12647456			
0,185985135			
0,289861125			

Задание 2:

Расчет СКО, доверительного интервала (для  $a = 0,95$ ), абсолютной и относительной погрешности:

$$S_{t1}^- = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{1i} - \bar{t}_1)^2}{N(N-1)}} = 0,04$$

$$\Delta_{\bar{t}_1} = t_{a,n} \cdot S_{\bar{t}_1} = 0,11$$

$$\Delta_{t1} = \sqrt{\Delta_{\bar{t}_1}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta_{\text{ит}1}\right)^2} \approx 0,13$$

$$\varepsilon_{t1} = \frac{\Delta_{t1}}{\bar{t}_1} \cdot 100\% = 10,1\%$$

Аналогично для  $t_2$

Результаты всех вычислений для  $t_1$  и  $t_2$ :

№	$S_{t1}^-$	$\Delta_{\bar{t}_1}$	$\Delta_{t1}$	$\varepsilon_{t1}$
1	0,04	0,11	0,13	10,1
2	0,08	0,22	0,23	18
3	0,09	0,27	0,28	28
4	0,08	0,22	0,23	32
5	0,07	0,2	0,2	29

№	$S_{t2}^-$	$\Delta_{\bar{t}_2}$	$\Delta_{t2}$	$\varepsilon_{t2}$
1	0,04	0,11	0,13	3,25
2	0,09	0,27	0,28	8,3
3	0,1	0,29	0,3	11
4	0,1	0,29	0,3	13
5	0,18	0,5	0,5	22,7

Расчет погрешности для ускорения:

$$\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_{x_{и2}})^2 + (\Delta_{x_{и1}})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \cdot \Delta_{t1})^2 + (\langle t_2 \rangle \cdot \Delta_{t2})^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}} = 0,06$$

Результаты для остальных расчетов представлены в приложении №1 (табл.5)

Расчет СКО для коэф.В(g).

$$d_1 = a_1 - (A + B \cdot \sin a_1) = 0,03 + 0,021 = 0,051 \text{ м/с}^2$$

Аналогично для остальных i:

d1	d2	d3	d4	d5
0,051	-0,05	-0,055	0,0125	0,04

$$D = \sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} * \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2 = 0,001837452$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 1,34$$

$$\Delta_g = 2,68$$

$$\varepsilon_g = 35,7\%$$

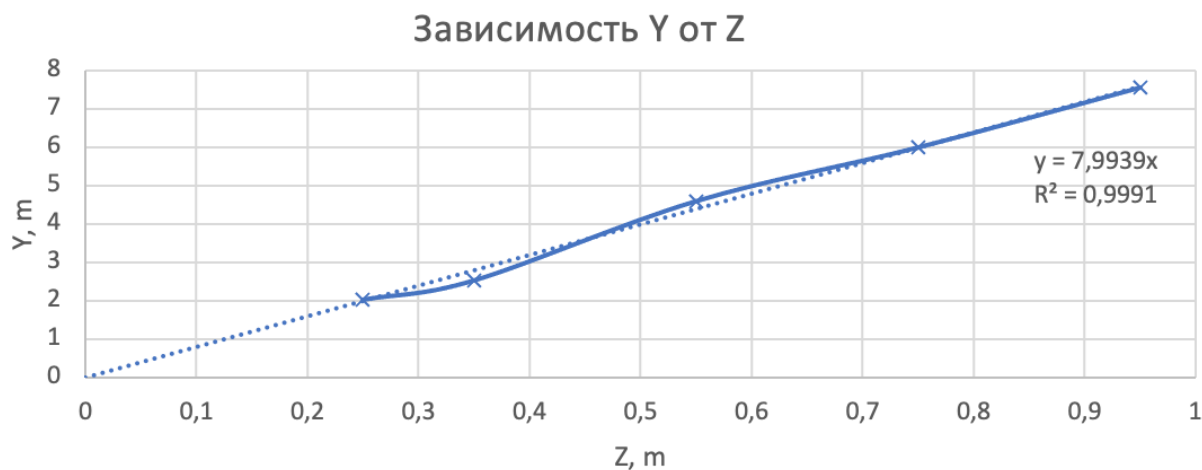
Сравнение абсолютной погрешности  $g$  с фактической разницей  $g$  табл. и  $g$ :

$$g_{\text{санкт}} = 9,82 \text{ м/с}^2$$

$$\Delta g(\text{фактич.}) = |g_{\text{табл}} - g_{\text{эксп}}| = 2,31 \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon_g(\text{фактич.}) = 2,31/9,82 * 100\% = 23,5\%$$

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



#### 12. Окончательные результаты.

- График зависимости  $Y=Y(Z)$
  - График зависимости  $a=a(\sin \alpha)$ 

$a = (0,2 \pm 0,09) \text{ м/с}^2$ ;	$\varepsilon_a = 4,5\%$ ;	$a = 0.90$ .
$g = (7,5 \pm 2,68) \text{ м/с}^2$ ;	$\varepsilon_g = 35,7\%$	$a = 0.95$ .
- $\Delta g(\text{фактич.}) = 2,31 \text{ м/с}^2$ ;       $\varepsilon_g(\text{фактич.}) = 23,5\%$

13. Вывод и анализ результатов работы:

Задание 1:

Мы провели экспериментальную проверку равноускоренности движения тележки по наклонной плоскости и посчитали погрешности значений времени и ускорения. Смотри на полученные результаты можно прийти к выводу, что движение тележки по наклонной плоскости при фиксированном угле наклона является равноускоренным, это подтверждает график1 и низкая погрешность измерений.

Задание 2:

В результате измерений был получен  $g = 7,5$ , что значительно ( $\epsilon_g(\text{факт}) = 23.5\%$ ) отличается от табличного значения  $g = 9.82$ . Это связано с систематической погрешностью (методика обработки данных, неточность измерительного инструмента, различные внешние факторы, влияющие на точность измерений).

14. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).