

Группа 1.2_____

К работе допущен_____

Студенты Кобик Никита, Маликов Глеб

Работа выполнена_____

Преподаватель Иванов Виктор Юрьевич

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.

$$Y = x_2 - x_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 0,90$$

$$N = 5$$

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

6. Измерительные приборы.

Таблица 1: Измерительные приборы

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность
Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	-	5,0 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.

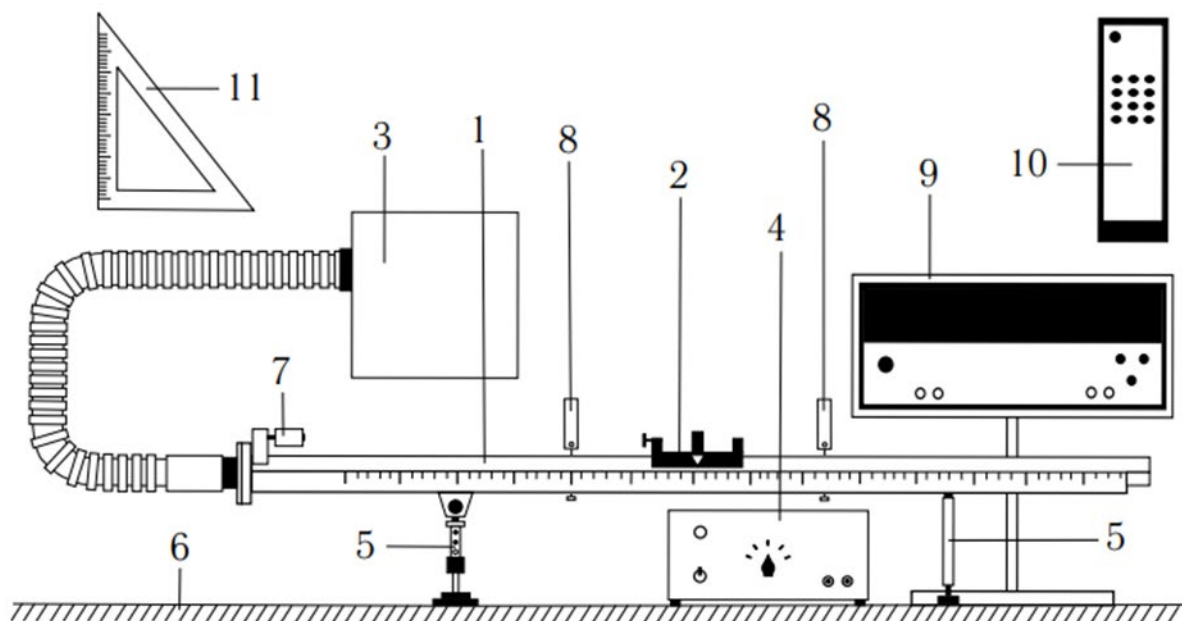


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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.

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

Таблица 2

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_o, \text{ мм}$	$h'_o, \text{ мм}$
$0,22 \pm 0,005$	$1,00 \pm 0,005$	$225 \pm 0,5$	$225 \pm 0,5$

Все расчеты для таблиц берем из экселя, они пронумерованы согласно методичке

Так же и с графиками в приложениях

Таблица 3: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины		$Y \pm \Delta Y, \text{ м}$	$Z \pm \Delta Z, \text{ с}^2$	$\varepsilon_Y, \%$	$\varepsilon_Z, \%$
	$x_1, \text{ м}$	$x_2, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$x_2 - x_1, \text{ м}$	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{ с}^2$				
1	0,15	0,40	1,6	2,7	0,25	2,365	$0,25 \pm 0,0047$	$2,365 \pm 0,313$	1,88	13,23
2	0,15	0,50	1,6	3,1	0,35	3,525	$0,35 \pm 0,0047$	$3,525 \pm 0,348$	1,34	9,87
3	0,15	0,70	1,7	3,8	0,55	5,775	$0,55 \pm 0,0047$	$5,775 \pm 0,416$	0,85	7,2
4	0,15	0,90	1,8	4,4	0,75	8,06	$0,75 \pm 0,0047$	$8,06 \pm 0,475$	0,63	5,89
5	0,15	1,10	1,7	4,7	0,95	9,6	$0,95 \pm 0,0047$	$9,6 \pm 0,499$	0,49	5,19

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	$232 \pm 0,5$	$225 \pm 0,5$	1	1,7	4,7
			2	1,7	4,7
			3	1,6	4,7
			4	1,7	4,7
			5	1,7	4,7
2	$242 \pm 0,5$	$225 \pm 0,5$	1	1,3	3,4
			2	1,4	3,5
			3	1,4	3,5
			4	1,4	3,5
			5	1,3	3,4
3	$251 \pm 0,5$	$225 \pm 0,5$	1	1,1	2,8
			2	1	2,8
			3	1,1	2,8
			4	1,1	2,8

			5	1,1	2,8
4	261± 0,5	226± 0,5	1	0,9	2,4
			2	1	2,4
			3	0,9	2,4
			4	0,9	2,4
			5	1	2,4
5	270± 0,5	227± 0,5	1	0,7	2,1
			2	0,8	2,2
			3	0,8	2,1
			4	0,9	2,2
			5	0,9	2,2
$N_{\text{ПД}}$ – 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

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \cong 0,0967 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N - 1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \cong 0,0015 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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	0,008974359	1,68 ± 0,055	4,7 ± 0,05	0,099 ± 0,003
2	0,021794872	1,36 ± 0,058	3,46 ± 0,058	0,188 ± 0,008

3	0,033333333	$1,08 \pm 0,055$	$2,8 \pm 0,05$	$0,285 \pm 0,013$
4	0,044871795	$0,94 \pm 0,058$	$2,4 \pm 0,05$	$0,390 \pm 0,021$
5	0,055128205	$0,82 \pm 0,067$	$2,16 \pm 0,058$	$0,476 \pm 0,033$

$N_{\text{ПЛ}}$ – количество пластин

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

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = 8,276 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = 0,01567$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N - 2)}} = 1,0179 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 1,544 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 15,723\%$$

10. Расчет погрешностей измерений.

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0,003 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 3,102\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 2,0358 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = 24,5988\%$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2} = 0,0047 \text{ м}$$

$$\Delta Z_i = \sqrt{\left(\frac{df_2}{dt_{1i}} \cdot \Delta t_{1i}\right)^2 + \left(\frac{df_2}{dt_{2i}} \cdot \Delta t_{2i}\right)^2} = \sqrt{(-t_{1i} \cdot 0.1)^2 + (t_{2i} \cdot 0.1)^2}$$

$$\varepsilon_{Y_i} = \frac{\Delta Y}{Y_i} \cdot 100\%$$

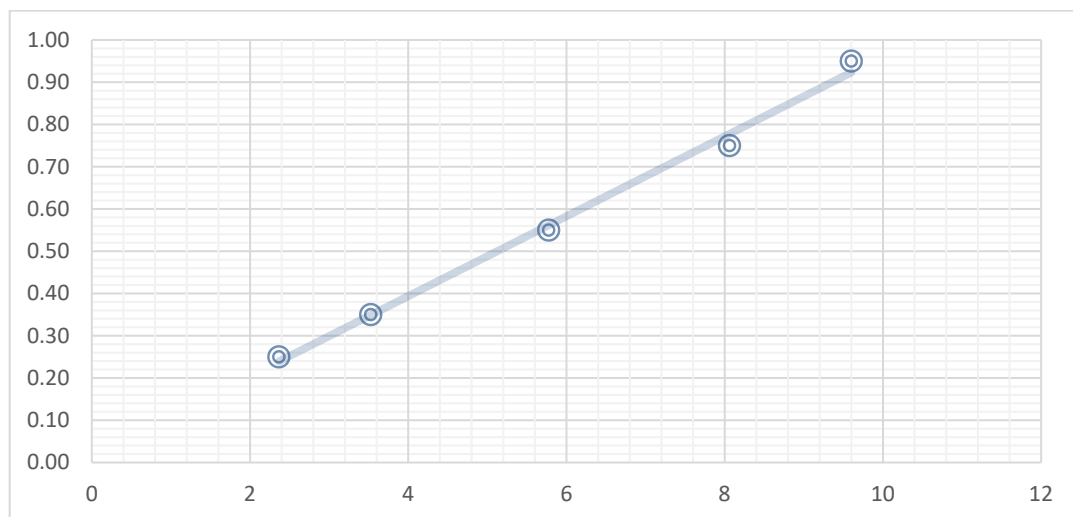
$$\varepsilon_{zi} = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\%$$

$$\Delta a_i = \langle a \rangle_i \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{i2})^2 + (\Delta x_{i1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle_i \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle_i \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle_i^2 - \langle t_1 \rangle_i^2)^2}}$$

11. Графики.

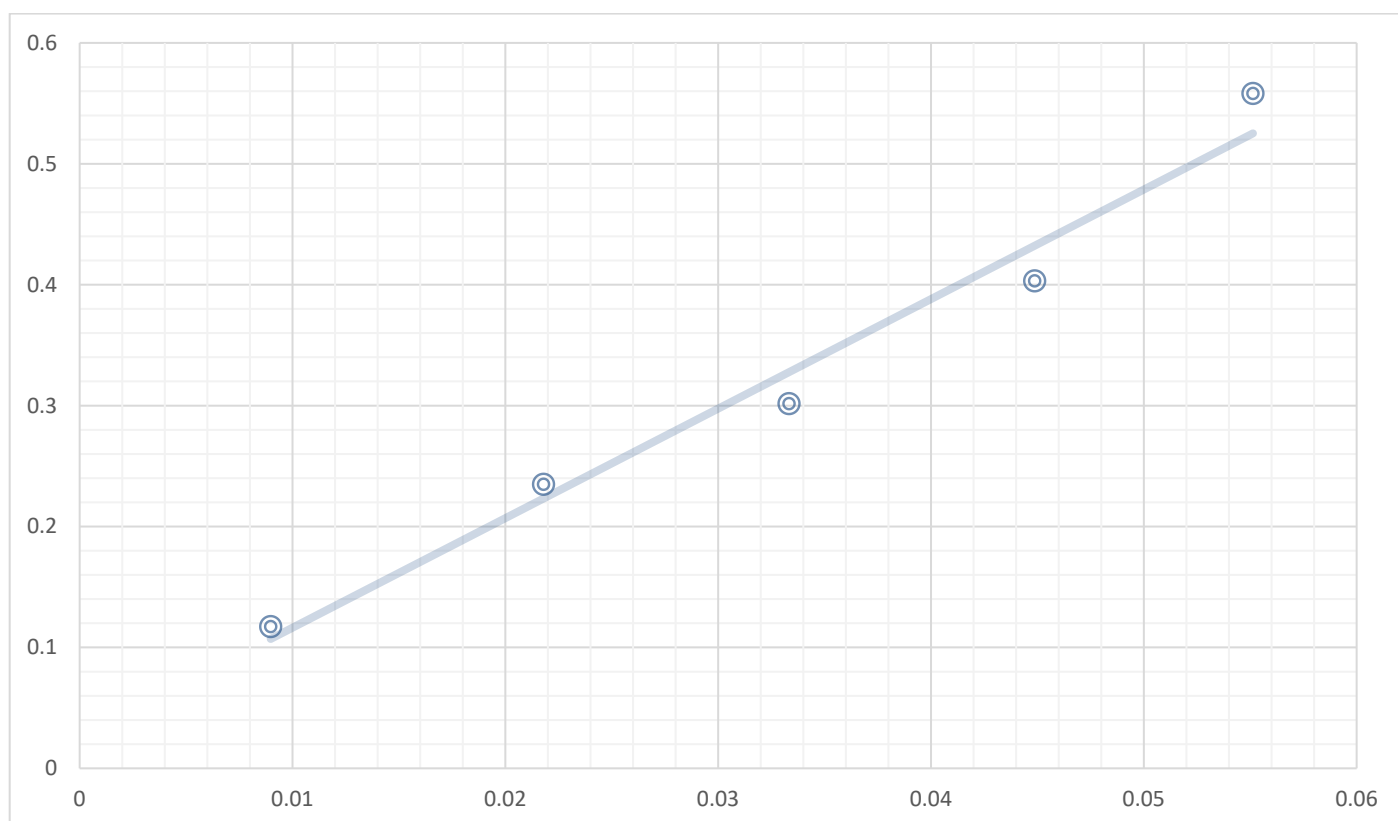
Задание 1

График 1. Зависимость Y от Z



Задание 2

График 2. Зависимость a от sin α



12. Окончательные результаты.

$$a = 0,0967 \pm 0,003 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_a = 3,102\%$$

$$g = 8,276 \pm 2,0358 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_g = 24,5988\%$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 1,544 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 15,723\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Опираясь на график, можно утверждать, что движение тележки в 1-м опыте является равноускоренным, так как график представляет собой прямую. Точность расчета ускорения движения тележки также подтверждена.

Поскольку абсолютное отклонение экспериментального значения от табличного практически равно абсолютной погрешности измерения, можно заключить, что измерение является достоверным.