
Группа 1.4

К работе допущен _____

Студенты Рязанов Н. С., Ткачев Д. В.

Работа выполнена _____

Преподаватель Хвастунов Н. Н.

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) 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:

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:

- $Y = x_2 - x_1$
- $Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$
- $\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2}$
- $\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{df_2}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{df_2}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2}$
- $\varepsilon_Y = \frac{\Delta Y}{Y} \cdot 100\% \quad \varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\%$
- $a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}}$
- $\Delta_a = 2\sigma_a \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\%$
- $\sin \alpha = \frac{(h-h_0)-(h'-h'_0)}{x'-x}$

- $\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$
- $\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{H2})^2 + (\Delta x_{H1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$
- $B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2}$
- $A = \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)$
- $\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N - 2)}}$
- $\Delta g = 2\sigma_g \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\%$
- $\langle t \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$
- $\Delta t = \sqrt{(\frac{df_3}{dt_1} \cdot \Delta t_1)^2 + (\frac{df_3}{dt_2} \cdot \Delta t_2)^2 + (\frac{df_3}{dt_3} \cdot \Delta t_3)^2 + (\frac{df_3}{dt_4} \cdot \Delta t_4)^2 + (\frac{df_3}{dt_5} \cdot \Delta t_5)^2}$
- $\alpha = 0,90$
- $N = 5$
- $g_{\text{табл}} = 9,82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

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:

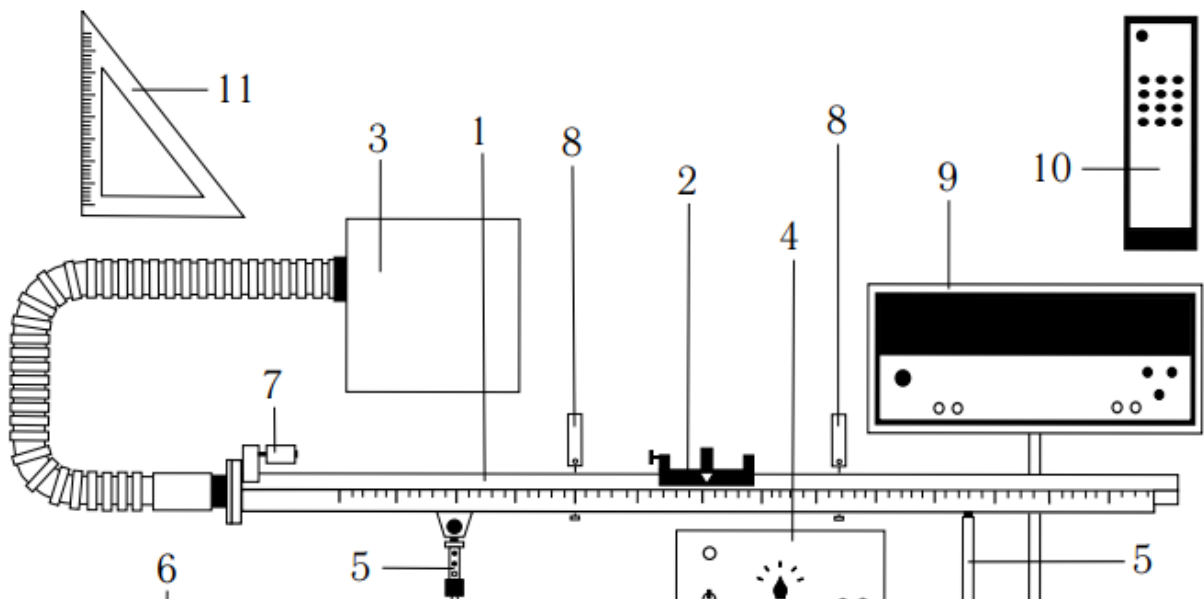


Рисунок 1. Схема установки

- 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.

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_o, \text{ мм}$	$h'_o, \text{ мм}$
$0,22 \pm 0,005$	$1,00 \pm 0,005$	$190 \pm 0,5$	$192 \pm 0,5$

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	0,40	1,70	2,40	0,25	1,435
2	0,15	0,50	1,80	2,80	0,35	2,3
3	0,15	0,70	1,80	3,50	0,55	4,505
4	0,15	0,90	1,60	3,60	0,75	5,2
5	0,15	1,10	1,70	4,20	0,95	7,375

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	171	163	1	1,7	4,0
			2	1,7	4,0
			3	1,6	3,9
			4	1,6	3,9
			5	1,6	3,9
2	184	165	1	1,2	2,8
			2	1,1	2,8
			3	1,1	2,8
			4	1,2	2,8

			5	1,2	2,8
3	193	166	1	0,9	2,2
			2	1,0	2,2
			3	0,9	2,2
			4	1,0	2,2
			5	1,0	2,2
4	202	166	1	0,8	2,0
			2	0,9	2,0
			3	0,9	2,0
			4	0,9	2,0
			5	0,9	2,0
5	211	167	1	0,8	1,8
			2	0,8	1,8
			3	0,8	1,8
			4	0,8	1,8
			5	0,8	1,8

$N_{\text{пл}}$ – количество пластин

h – высота на координате $x = 0,22$ м

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

9. Расчет результатов косвенных измерений:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \approx 0,133 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N - 1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \approx 0,005 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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	0,009	$1,64 \pm 0,06$	$3,94 \pm 0,06$	$0,15 \pm 0,06$
2	0,023	$1,16 \pm 0,06$	$2,80 \pm 0,05$	$0,29 \pm 0,014$
3	0,033	$0,96 \pm 0,06$	$2,20 \pm 0,05$	$0,49 \pm 0,031$
4	0,044	$0,88 \pm 0,05$	$2,00 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,04$
5	0,054	$0,80 \pm 0,05$	$1,80 \pm 0,05$	$0,73 \pm 0,06$
$N_{\text{пл}}$ – количество пластин $\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{1,2i}$				

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} \approx 13,22 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) \approx 0,018 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N - 2)}} \approx 0,692 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 3,402 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 34,64\%$$

10. Расчет погрешностей измерений:

$$\Delta_a = 2\sigma_a \approx 0,0106 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 7,93\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 1,384 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = 10,46\%$$

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

$$\Delta t = \sqrt{\left(\frac{df_3}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_3} \cdot \Delta t_3\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_4} \cdot \Delta t_4\right)^2 + \left(\frac{df_3}{dt_5} \cdot \Delta t_5\right)^2} \approx 0,100 \text{ с}$$

Таблица 6. Погрешности измерений

№	$\Delta Z_i, \text{с}^2$	$\varepsilon_{Zi}, \%$	$\varepsilon_{Yi}, \%$	$\Delta a_i, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1	0,147	10,24	2,84	0,019
2	0,166	7,24	2,03	0,011
3	0,197	4,37	1,29	0,006
4	0,205	3,79	0,95	0,006
5	0,227	3,07	0,75	0,004

11. Графики:

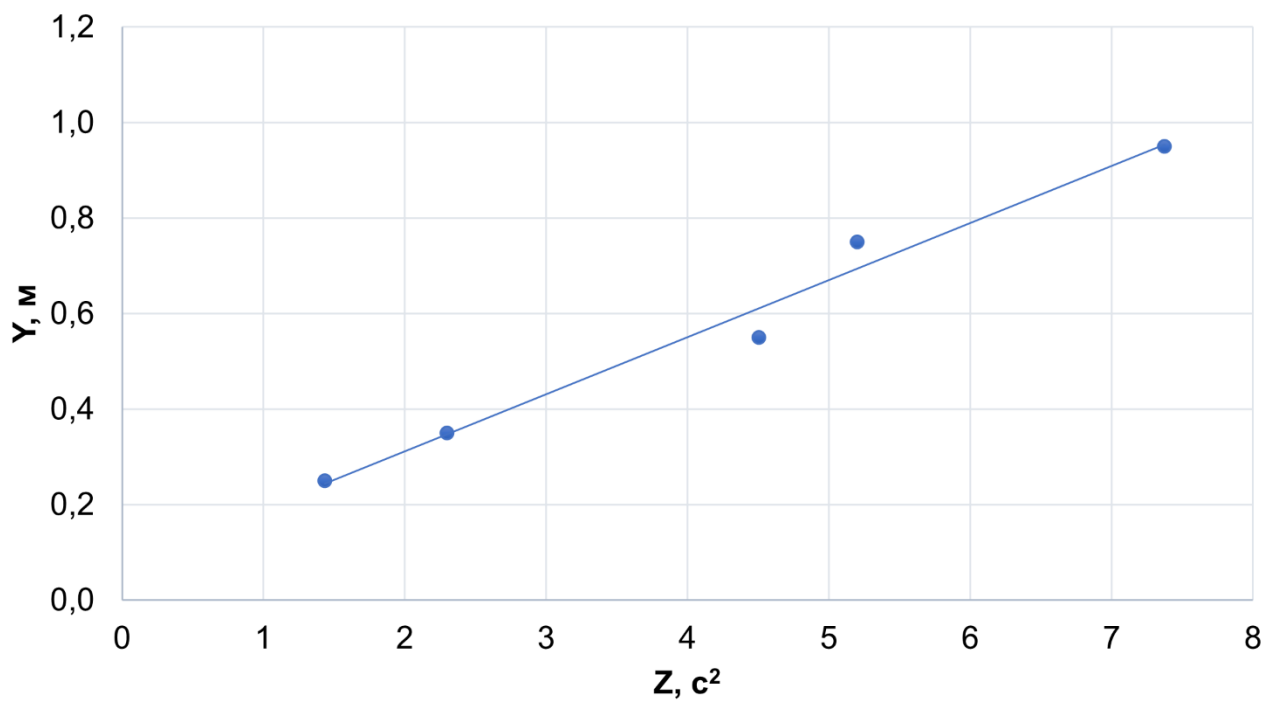


Рисунок 2. График зависимости Y от Z

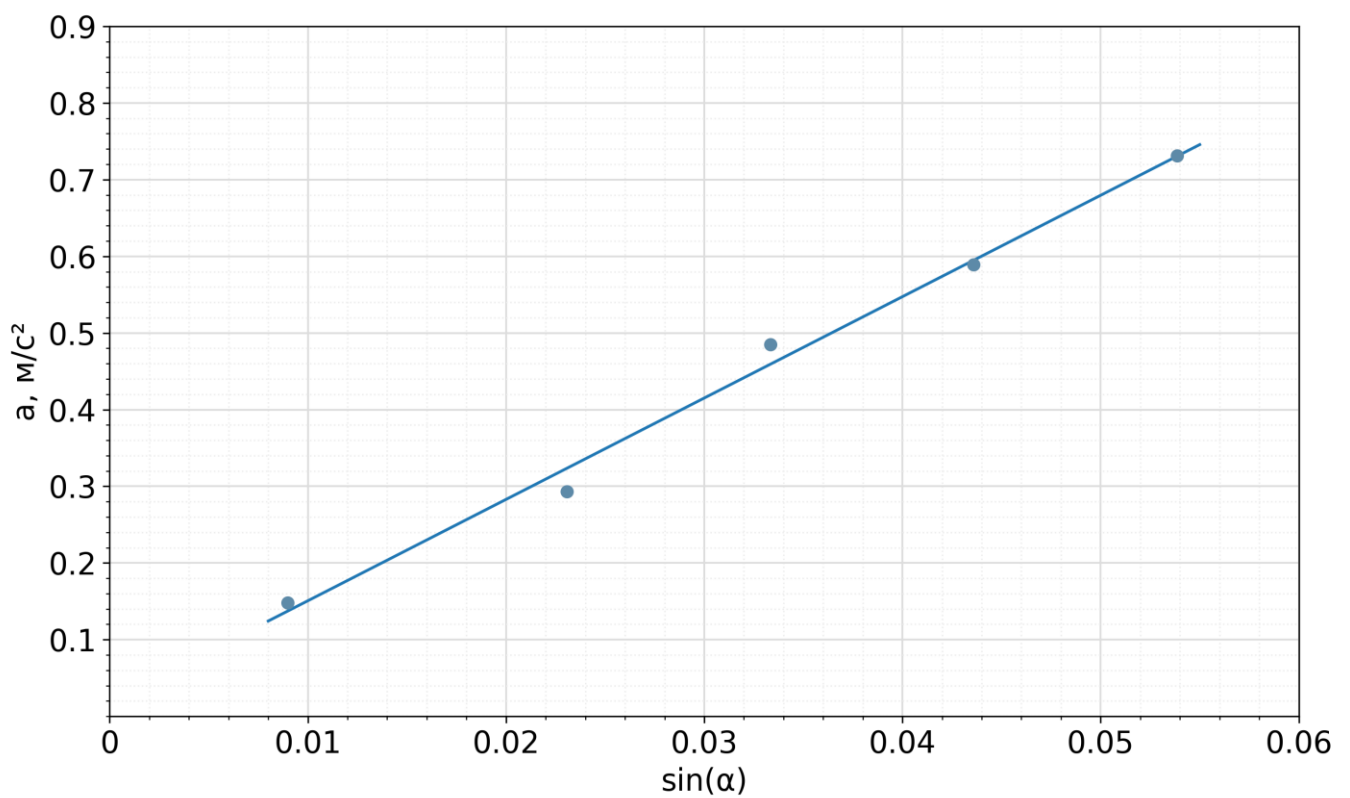


Рисунок 3. График зависимости a от $\sin(\alpha)$

12. Окончательные результаты:

$$a = (0,133 \pm 0,011) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varepsilon_a = 8\%; \quad \alpha = 0,90.$$

$$g = (13,2 \pm 1,4) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varepsilon_g = 10\%; \quad \alpha = 0,90.$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 35\%; \quad \alpha = 0,90.$$

13. Выводы и анализ результатов работы:

Опираясь на построенный график зависимости координаты от времени, можно заключить, что движение тележки в 1-м опыте является равноускоренным, так как график практически представляет собой прямую линию. Также удалось довольно точно рассчитать ускорение движения тележки. Результат измерения ускорения свободного падения можно считать достоверным в рамках учебного эксперимента. Табличное значение ускорения свободного падения g находится вблизи границ доверительного интервала измеренного значения.