

Группа Р3210, Р3208 К работе допущен _____

Студент Чжун Цзяцзюнь, Су Лянхуа Работа выполнена _____

Преподаватель Сорокина Елена Константиновна 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) 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.

$$Y = x_2 - x_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$A=\frac{1}{N}\cdot (\sum_{i=1}^Na_i-B\cdot \sum_{i=1}^Nsin\alpha_i)$$

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

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

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

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

$$\alpha=0,90$$

$$N=5$$

$$g_{\rm табл}=9,82\,\frac{\rm M}{\rm c^2}$$

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.

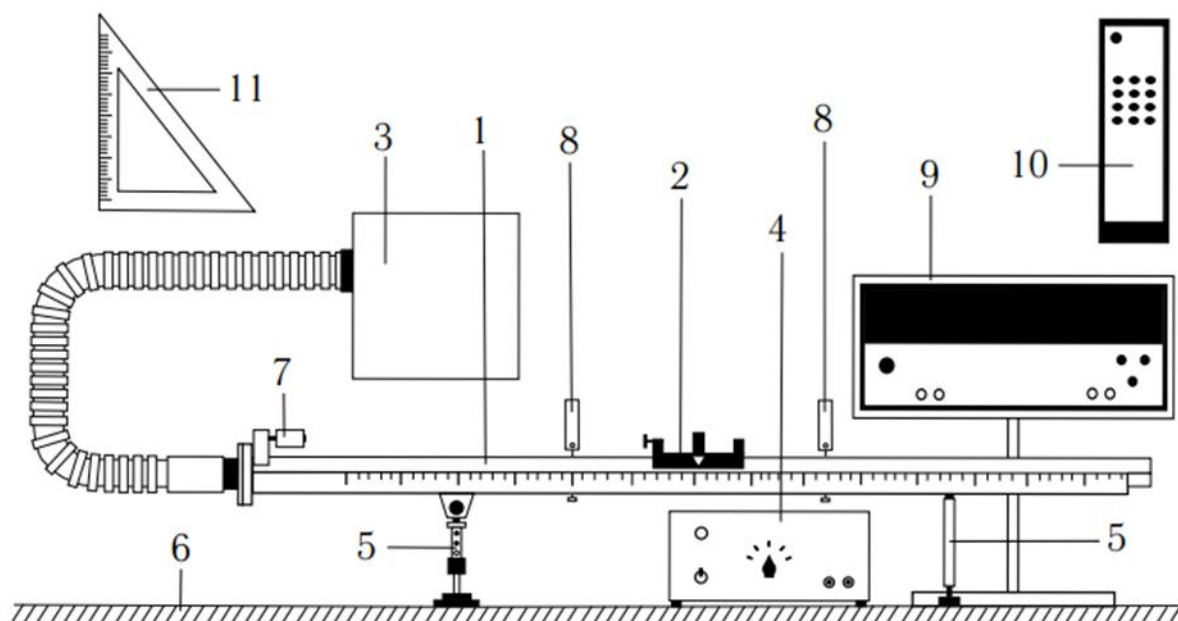


РИС. 2. Общий вид экспериментальной установки

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

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_o, \text{ мм}$	$h'_o, \text{ мм}$
$0,10 \pm 0,005$	$0,900 \pm 0,005$	$170 \pm 0,5$	$171 \pm 0,5$

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	
	$x_1, \text{ м}$	$x_2, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$x_2 - x_1, \text{ м}$	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{ с}^2$
1	0.10	0.50	1.8	3.1	0.40	3.185
2	0.10	0.60	1.5	3.2	0.50	3.995
3	0.10	0.70	1.6	3.5	0.60	4.845
4	0.10	0.80	1.2	3.8	0.70	6.500
5	0.10	0.90	1.2	3.7	0.80	6.125

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	182.00	171.00	1	1.50	3.90
			2	1.30	4.10
			3	1.30	4.20
			4	1.60	4.10
			5	1.30	4.10

2	192.00	175.00	1	1.30	3.20
			2	1.10	3.20
			3	0.90	3.00
			4	1.20	3.40
			5	1.20	3.10
3	203.00	177.00	1	0.90	2.70
			2	0.90	2.70
			3	1.40	3.00
			4	1.20	2.70
			5	0.80	2.70
4	213.00	178.00	1	0.80	2.30
			2	1.10	2.40
			3	1.10	2.60
			4	1.00	2.30
			5	0.80	2.30
5	223.00	179.00	1	0.70	2.10
			2	0.80	2.10
			3	0.60	1.90
			4	1.00	2.20
			5	1.00	2.20

$N_{\text{пл}}$ – количество пластин

h – высота на координате $x = 0,10$ м

h' – высота на координате $x' = 0,90$ м

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Задание 1

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \cong \frac{15.6285}{129.3439} \approx 0.12 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \cong \sqrt{\frac{0.012}{517.3756}} \approx 0.01 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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	0.01375	1.400 ± 0.091	4.080 ± 0.077	0.109 ± 0.005
2	0.02125	1.140 ± 0.096	3.180 ± 0.094	0.182 ± 0.013
3	0.0325	1.040 ± 0.144	2.760 ± 0.088	0.245 ± 0.021
4	0.04375	0.960 ± 0.096	2.380 ± 0.086	0.337 ± 0.032
5	0.055	0.820 ± 0.108	2.100 ± 0.083	0.428 ± 0.045
$N_{\text{пл}}$ – количество пластин $\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{1i,2i}$				

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = \frac{0.008366}{0.001108} = 7.55 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = \frac{1}{5} * (1.301 - 7.55 * 0.17) = \frac{1}{5} * (1.301 - 1.2835) = 0.01$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N-2)}} = \sqrt{\frac{0.000272}{0.003324}} \approx 0.2860 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = |7.55 - 9.82| = 2.27 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = \frac{|7.55 - 9.82|}{9.82} = \frac{2.27}{9.82} \approx 23.1\%$$

10. Расчет погрешностей измерений.

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 2 * 0.01 = 0.02 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = \frac{0.02}{0.12} \approx 16.7\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 2 * 0.2860 = 0.572 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = \frac{0.572}{7.55} \approx 7.6\%$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{df_1}{dx_2} \cdot \Delta x_2\right)^2} = \sqrt{(-1)^2 * (0.005)^2 + (1)^2 * (0.005)^2} \approx 0.007 \text{ м}$$

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

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

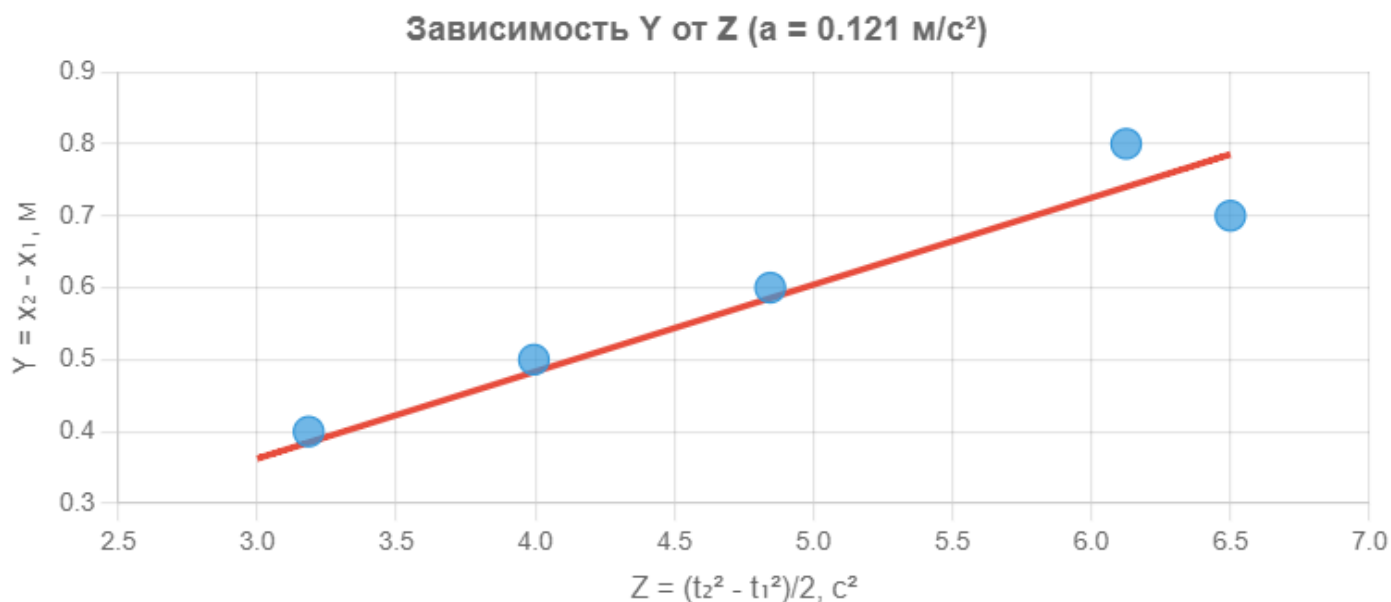
$$\varepsilon_{Zi} = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\%$$

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

11. Графики.

Задание 1

График 1. Зависимость Y от Z

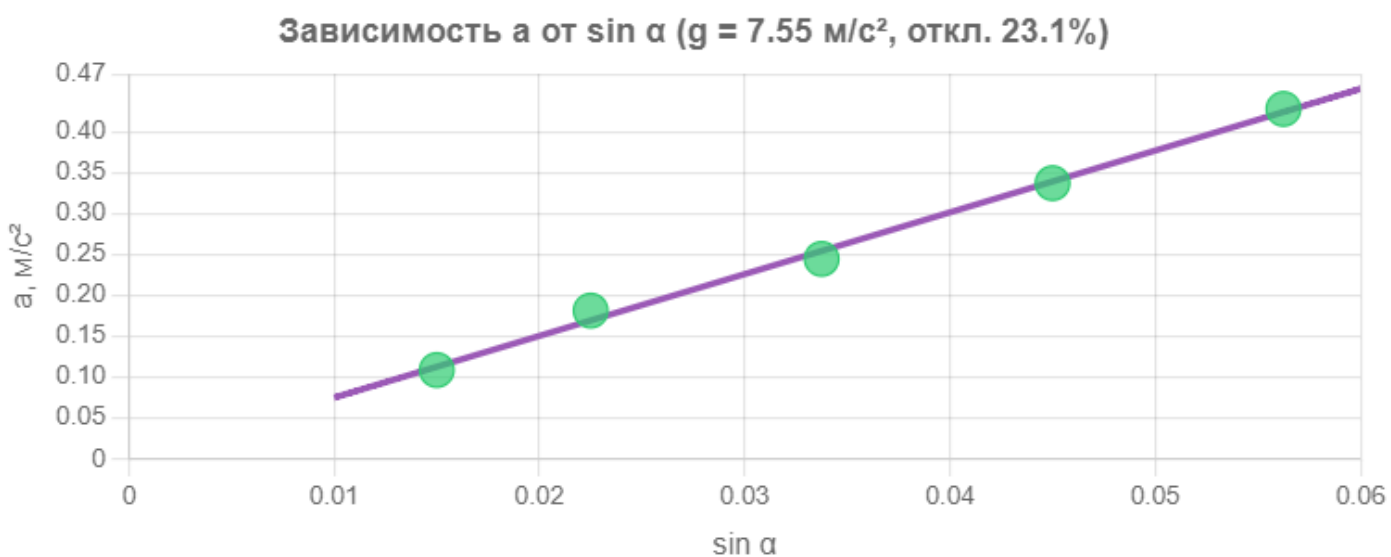


Синий круг – Экспериментальные данные

Красная линия – Линейная аппроксимация

Задание 2

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



Зеленый круг - Экспериментальные данные

Фиолетовая линия - Линейная аппроксимация

12. Окончательные результаты.

$$a = \pm(0.12 \pm 0.02) \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_a = 16.7\%$$

$$g = \pm(7.55 \pm 0.57) \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_g = 7.6\%$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 2.27 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 23.1\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

1. Экспериментальные данные, полученные в ходе выполнения задачи 1, показывают, что движение транспортного средства по наклонной плоскости с фиксированным углом имеет хорошую линейную зависимость, подтверждая закон постоянства ускорения. Измеренное ускорение $a = (0,12 \pm 0,02) \text{ м/с}^2$ с относительной погрешностью 16,6%, что свидетельствует о высокой точности.

2. Многоугловые измерения и линейный регрессионный анализ дали значение ускорения свободного падения $g = (7,55 \pm 0,57) \text{ м/с}^2$, что отклоняется от теоретического значения $9,82 \text{ м/с}^2$ на 23,1%.

3. График 2 показывает явную линейную зависимость между ускорением a и $\sin \alpha$ (коэффициент корреляции $r^2 > 0.95$), что подтверждает правильность теоретической формулы $a = g \cdot \sin \alpha - f$ (где f - член трения). Метод линейной регрессии эффективно извлек значение g из экспериментальных данных.

В результатах измерений наблюдаются значительные отклонения.

Возможные причины:

1. ручное измерение времени имеет систематические погрешности
2. При отпуске автомобиля могут возникнуть ошибки начальной скорости или положения.