

Группа _____ Р3207 _____ К работе допущен _____

Студент _____ Путинцев Данил Денисович _____ Работа выполнена _____ 09.10.2024 _____

Преподаватель _____ Агабабаев В. А _____ Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.02

Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

Цели работы.

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

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.

Объект исследования.

Ускорение тележки при различных углах наклона.

Метод экспериментального исследования.

Измерение времени, за которое тележка проходит заданное расстояние по наклонной плоскости при различных углах наклона.

Рабочие формулы и исходные данные.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i * Y_i}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad \sin a = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - a Z_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n Z_i^2}} \quad \langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2}$$

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

$$B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin a_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2} \quad A = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin a_i)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}}, \quad \text{где } d_i = a_i - (A + B \sin a_i), \quad D = \sum_{i=1}^N \sin a_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2$$

$$\Delta g = 2 \sigma_g$$

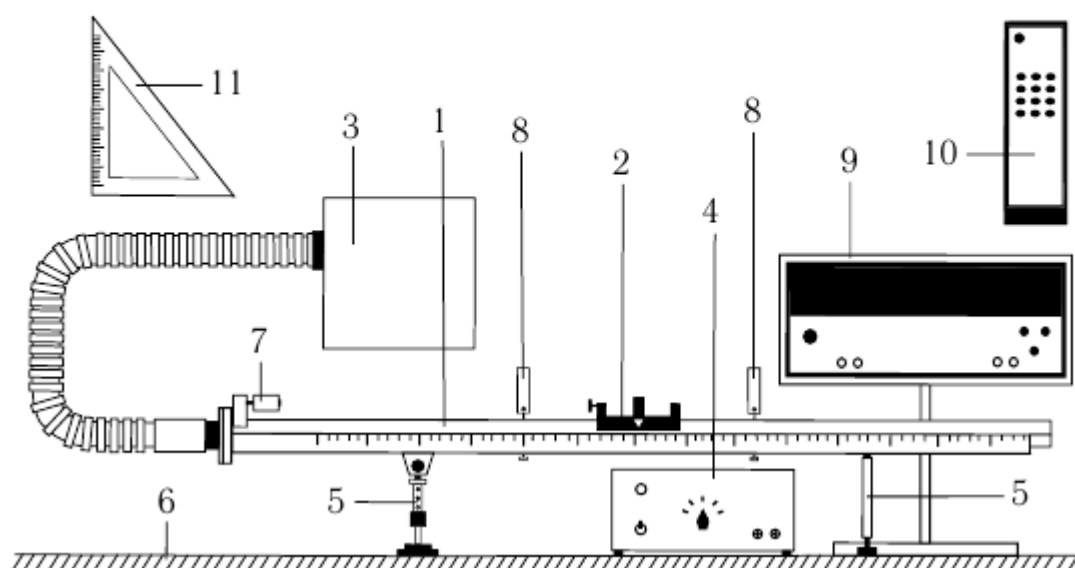
$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\%$$

Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	5 мм
2	Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/дел	0.5 мм
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0.1 с	0.1 с

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

Схема экспериментальной установки представлена на Рис.2.



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

Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

х, м	х', м	h ₀ , мм	h' ₀ , мм
0.22 ± 0.005	1 ± 0.005	206 ± 0.5	210 ± 0.5

Таблица 1: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x ₁ , м	x ₂ , м	t ₁ , с	t ₂ , м	x ₂ - x ₁ , м (Y)	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, c^2$ (Z)
1	0,15	0,4	1,3	2,3	0,25 ± 0.005	1,8 ± 0.09
2	0,15	0,5	1,2	2,6	0,35 ± 0.005	2,66 ± 0.09
3	0,15	0,7	1,2	3,1	0,55 ± 0.005	4,085 ± 0.09
4	0,15	0,9	1,3	3,7	0,75 ± 0.005	6 ± 0.09
5	0,15	1,1	1,3	4,1	0,95 ± 0.005	7,56 ± 0.09

Таблица 2: Результаты прямых измерений (Задание 2)

N _{пл}	h, мм	h', мм	№	t ₁ , с	t ₂ , с
1	216	210	1	1,2	4,1
			2	1,2	4,1
			3	1,2	4,1
			4	1,2	4,1
			5	1,2	4,1
2	226	210	1	0,9	3,0
			2	0,9	2,9
			3	0,9	3,0
			4	0,8	2,9
			5	0,9	3,0
3	236	210	1	0,7	2,4
			2	0,7	2,4
			3	0,7	2,4
			4	0,7	2,4
			5	0,7	2,4

4	246	210	1	0,6	2,1
			2	0,6	2,1
			3	0,6	2,1
			4	0,6	2,1
			5	0,7	2,1
5	255	210	1	0,6	1,9
			2	0,6	1,9
			3	0,5	1,9
			4	0,6	2,0
			5	0,7	2.1
N _{пл} — количество пластин h — высота на координате x = 0,22 м h' — высота на координате x'= 1,00 м					

Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Задание 1

Найдем ускорение тележки методом наименьших квадратов (МНК):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i * Y_i}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} = 0.127 \text{ м/с}^2$$

Найдем среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - aZ_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n Z_i^2}} = 8.89 * 10^{-5} \text{ м/с}^2$$

Задание 2

Таблица 3: Результаты расчетов (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$\sin a$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{ с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{ с}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \text{ м/с}^2$
1	0.0128	1.2 ± 0	4.1 ± 0	0.104 ± 0.00078
2	0.026	0.88 ± 0.056	2.96 ± 0.068	0.199 ± 0.029
3	0.038	0.7 ± 0	2.4 ± 0	0.304 ± 0.023
4	0.05	0.62 ± 0.056	2.1 ± 0	0.396 ± 0.014
5	0.06	0.6 ± 0.088	1.96 ± 0.11	0.452 ± 0.108

$N_{\text{пл}}$ - количество пластин

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

5. Найдем коэффициенты линейной зависимости по формулам:

$$B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2} = 7.558 \text{ м/с}^2$$

$$A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin a_i \right) = 0.0086$$

6. Рассчитаем СКО для ускорения свободного падения (коэффициента В) по формуле:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0.95 \text{ м/с}^2, \text{ где } d_i = a_i - (A + B \sin a_i), \quad D = \sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2$$

Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Погрешность для $x_2 - x_1$:

$$\Delta x_1 = \frac{2}{3} * 0.0005 = 0.00033 \text{ м}, \quad \Delta x_2 = \frac{2}{3} * 0.0005 = 0.00033 \text{ м}$$

Абсолютная погрешность равна:

$$\Delta_l = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2} = \sqrt{0.00033^2 + 0.00033^2} = 0.0005 \text{ м}$$

Относительная погрешность равна:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta_l}{x_2 - x_1} * 100\% = \frac{0.0005}{0.25} * 100 = 0.2\% \quad x_2 - x_1 = (0.25 \pm 0.0005)$$

$$x_2 - x_1 = (0.25 \pm 0.0005) \text{ м} \quad \varepsilon_l = 0.2\% \quad \alpha = 0.95$$

Погрешность для $\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$

$$\Delta t = \frac{2}{3} * 0.1 = 0.067 \text{ с}$$

Абсолютная погрешность равна:

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2} = \sqrt{0.067^2 + 0.067^2} = 0.09 \text{ с}$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta_t}{\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}} * 100\% = \frac{0.09}{1.8} * 100\% = 5\%$$

$$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2} = (1.8 \pm 0.09) \text{ с} \quad \varepsilon_t = 5\% \quad \alpha = 0.95$$

Абсолютная погрешность коэффициента a (ускорения) для доверительной вероятности $\alpha = 0.90$

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 2 * 8.89 * 10^{-5} = 0.00018 \text{ м/с}^2$$

Относительная погрешность ускорения:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} * 100\% = 0.14\%$$

$$a = (0.127 + 0.00018) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_a = 0.14\% \quad \alpha = 0.9$$

Найдем абсолютную погрешность коэффициента для доверительной вероятности $\alpha = 0.90$

$$\Delta g = 2\sigma_g = 2 * 0.95 = 1.9 \text{ м/с}^2$$

Найдем относительная погрешность g :

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\% = \frac{1.9}{7.558} * 100\% = 25\%$$

Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

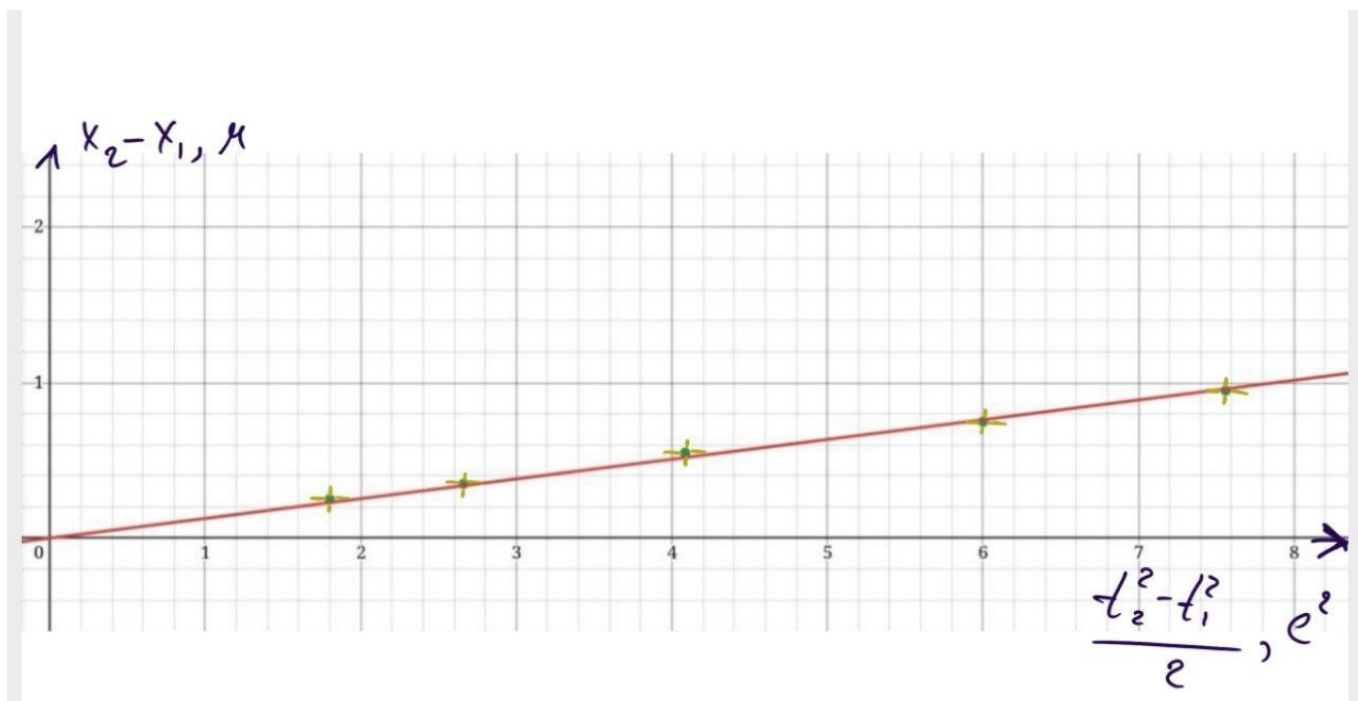


График 1. Зависимость Y от Z

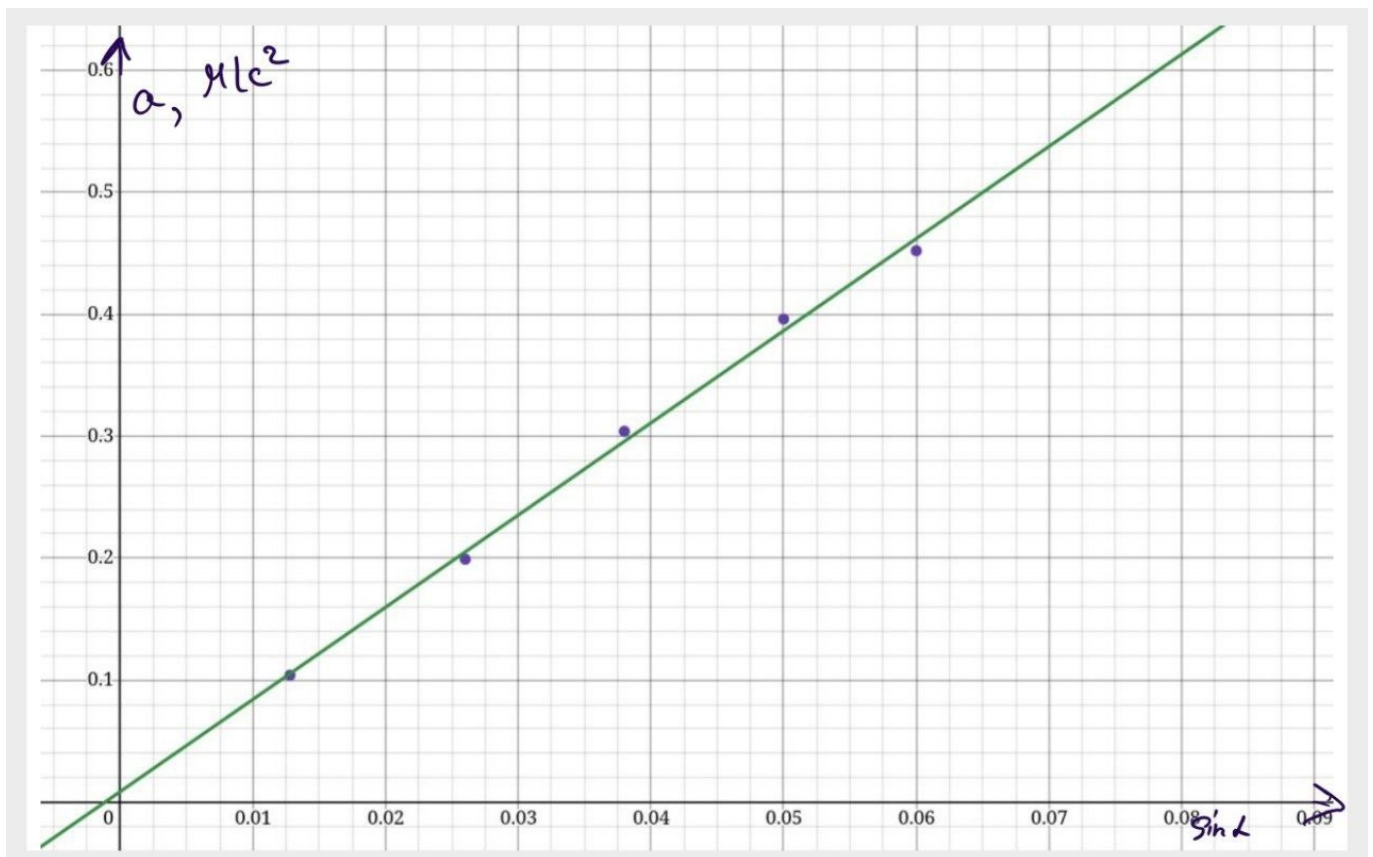


График 2: Зависимость a от $\sin(\alpha)$

Окончательные результаты.

$$a = (0.127 \pm 0.00018) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_a = 0.14\% \quad \alpha = 0.9$$

$$g = (7.558 \pm 1.9) \text{ м/с}^2 \quad \varepsilon_g = 25\% \quad \alpha = 0.9$$

$$g_{\text{табл}} = 9,8195 \text{ м/с}^2$$

$$|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = |7.558 - 9.858| = 2.3 \text{ м/с}^2$$

Выводы и анализ результатов работы.

Да, движение можно считать равноускоренным, так как на графике можно наблюдать линейную зависимость с учетом погрешностей.

Так как разность больше относительной погрешности ($2.3 > 1.9$), а значит, что наш эксперимент недостаточно точный, чтобы рассчитать силу притяжения земли.