

Группа Р3109

К работе допущен _____

Студент Суханкин Дмитрий Юрьевич

Работы выполнена _____

Преподаватель Крылов В. А.

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, выполняемые при выполнении работы.
 1. Проверка движения тележки на равноускоренность
 2. Исследование движения тележки с фиксированным углом наклона.
 3. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту.
3. Объект исследования.

Статические закономерности
4. Метод экспериментального исследования.
 1. Анализ
 2. Лабораторный эксперимент
5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$Y = x_2 - x_1$$

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

$$\Delta t = t_{a,N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle)^2}{N(N-1)}}$$

Формула нахождения коэффициента a и его СКО:

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

Абсолютная погрешность коэффициента a :

$$\Delta a = 2\sigma_a$$

Относительная погрешность ускорения:

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

Синус угла наклона рельса к горизонту:

$$\sin a = \left| \frac{(h_0 - h) - (h_0' - h')}{x' - x} \right|$$

Ускорение и его погрешность:

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

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

Коэффициенты линейной зависимости:

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

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

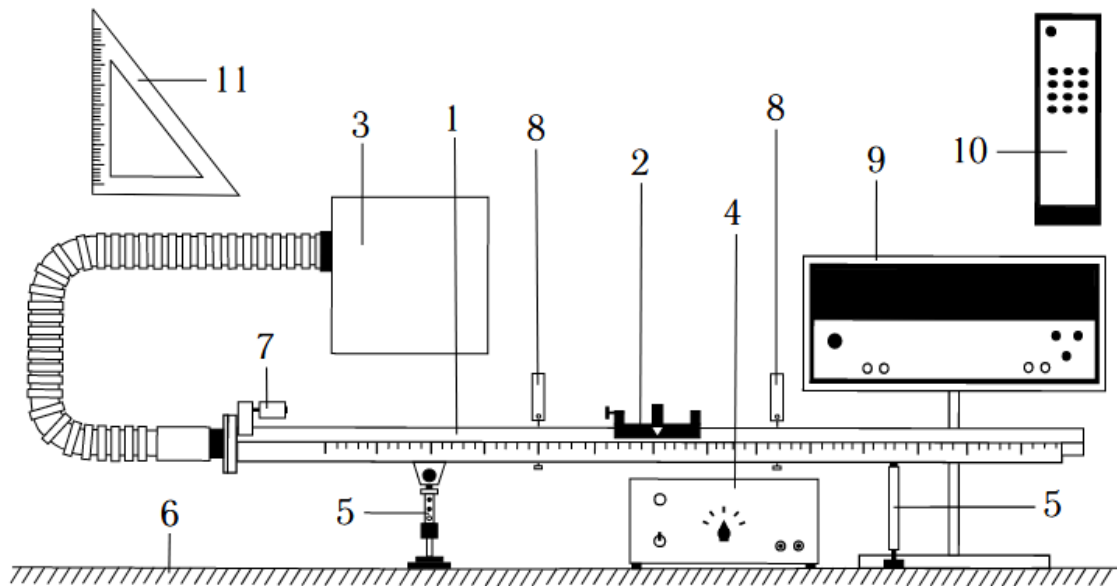
6. Измерительные приборы.

Таблица 1: Измерительные приборы

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_{и}$
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

7. Схема установки.

Рис. 1. 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. Линейка-угольника

8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 2

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_0, \text{ м}$	$h_0', \text{ м}$
0.22	1.00	0.216	0.216
$\Delta x = \Delta x' = 5 \text{ мм}, \Delta h_0 = \Delta h_0' = 0.5 \text{ мм}$			

Таблица 3

№	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	2.9	0.25	3.4
2	0.15	0.5	1.3	3.0	0.35	3.6
3	0.15	0.7	1.5	4.2	0.55	7.7
4	0.15	0.9	1.4	4.6	0.75	9.6
5	0.15	1.1	1.5	5.4	0.95	13

Таблица 4

$N_{\text{пл}}$	h , мм	h' , мм	№	t_1 , с	t_2 , с
1	216	208	1	1.4	5.1
			2	1.4	5.4
			3	1.4	5.2
			4	1.5	5.1
			5	1.5	5.4
2	229	208	1	1.0	3.5
			2	1.0	3.6
			3	1.0	3.5
			4	1.0	3.5
			5	1.1	3.6
3	234	208	1	0.8	2.7
			2	0.7	2.7
			3	0.7	2.7
			4	0.8	2.8
			5	0.8	3.0
4	240	208	1	0.7	2.5
			2	0.7	2.6
			3	0.7	2.6
			4	0.8	2.7
			5	0.7	2.7
5	251	208	1	0.6	2.0
			2	0.5	2.0
			3	0.6	2.0
			4	0.6	2.0
			5	0.6	2.0
$N_{\text{пл}}$ – количество пластин h - высота на координате $x = 0.22$ м h' - высота на координате $x' = 1.00$ м					

9. Расчет результатов косвенных измерений и размер некоторых погрешностей.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = \frac{26}{345} = 0.075 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$N_{\text{пл}}$	$\sin a$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, \text{с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, \text{с}$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1	0.01	1.4 ± 1	5.2 ± 0.27	0.02 ± 0.002
2	0.02	1 ± 0.08	3.5 ± 0.1	0.06 ± 0.004
3	0.03	0.76 ± 0.1	2.8 ± 0.23	0.15 ± 0.03
4	0.04	0.72 ± 0.08	2.6 ± 0.15	0.24 ± 0.03
5	0.05	0.58 ± 0.08	2 ± 0	0.52 ± 0.014

Расчеты на примере первой строки

$$\sin a = \left| \frac{(h_0 - h) - (h_0' - h')}{x' - x} \right| = \left| \frac{(216 - 216) - (216 - 208)}{1000 - 220} \right| = 0.01$$

$$\langle t_1 \rangle = 1.4 \text{с}$$

$$\langle t_2 \rangle = 5.2 \text{с}$$

$$\Delta t_1 = t_{a,N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle)^2}{N(N-1)}} = 0.1 \text{с}$$

$$\Delta t_2 = 0.27 \text{с}$$

$$\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2} = \frac{2 \cdot (0.4 - 0.15)}{4^2 - 1.4^2} = \frac{0.5}{16 - 1.96} = 0.02 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{u2})^2 + (\Delta x_{u1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}} = 0.002$$

$$B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin a_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2} = 9.9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

10. Размер погрешностей измерений.

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = \sqrt{\frac{0.008}{4 \cdot 345}} = 0.0024 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Абсолютная и относительная погрешность коэффициента а:

$$\Delta a = 2\sigma_a = 2 \cdot 0.0024 = 0.005 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\% = \frac{0.0048}{0.075} \cdot 100\% = 6.4\%$$

Абсолютная и относительная погрешность значения времени:

$$S_{\langle t_1 \rangle} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle)^2}{N(N-1)} = \frac{0.012}{20} = 0.0006 \text{ с}$$

$$D = \sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2 = 0.0014$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0.75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

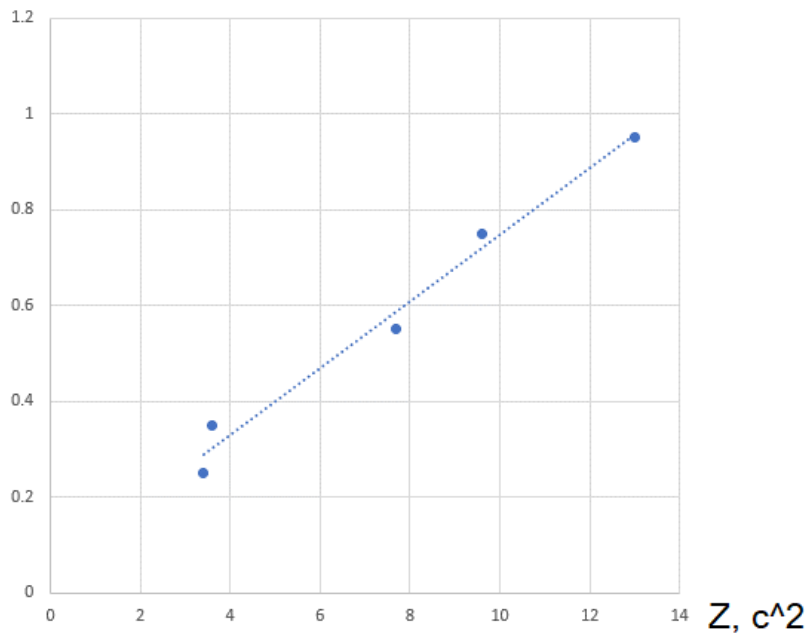
$$\Delta g = 2\sigma_g = 1.5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\% = 15\%$$

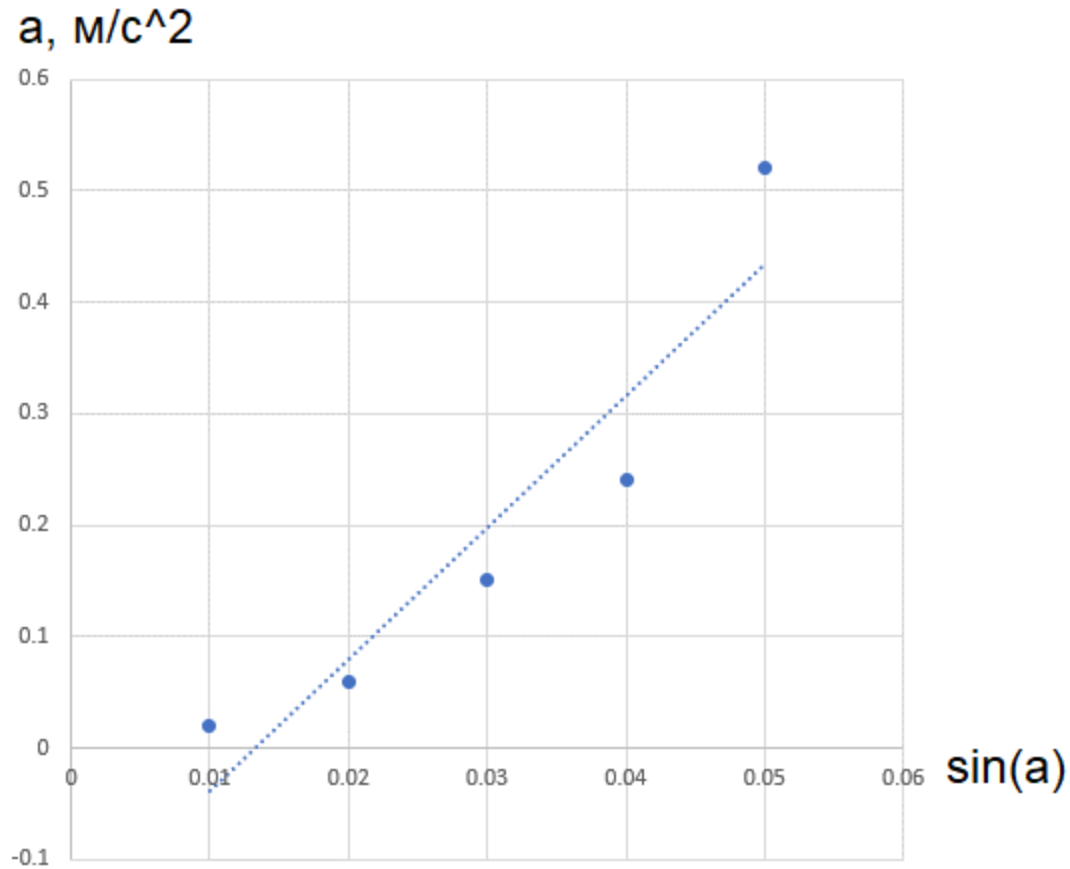
11. Графики.

Зависимость Y от Z

Y, м



Зависимость ускорения от угла наклона



12. Окончательные результаты.

Ускорение тележки:

$$a = (0.075 \pm 0.005) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \varepsilon_a = 6.4\%; a = 0.95$$

Ускорение свободного падения:

$$g = (9.9 \pm 1.5) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \varepsilon_g = 15\%; a = 0.90$$

0.0805 – абсолютное отклонение экспериментального значения ускорения свободного от его табличного значения для Санкт-Петербурга.

13. Выводы и анализ результатов работы.

Движение тележки можно считать равноускоренным, так как точки графика, полученные из расчетов экспериментальных данных, почти совпадают с графиком зависимости между перемещением и полу-разности квадратов значений времени.

Также абсолютное значение ускорения свободного падения отличается от табличного значения для Санкт-Петербурга меньше, чем абсолютная погрешность, так что полученные измерения можно считать достоверными.