

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ

Группа_____ К работе допущен_____

Студенты_____ Работа выполнена_____

Преподаватель_____ 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.

$$Y = x_2 - x_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 0,90$$

$$N = 5$$

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

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.

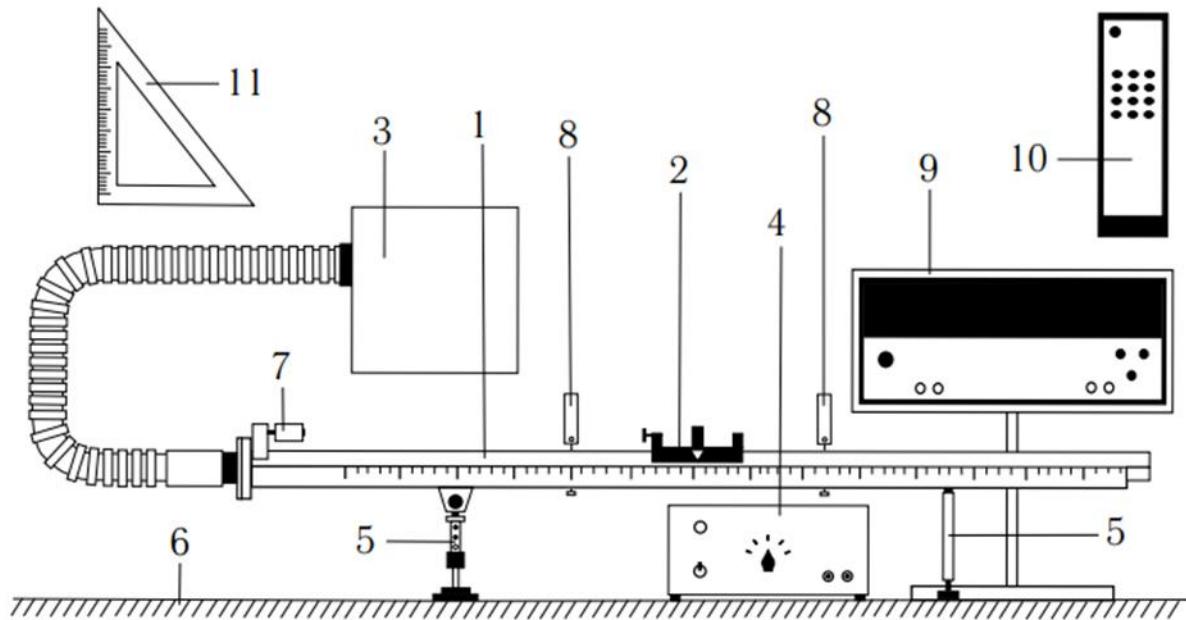


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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, м	x', м	h_o, мм	h'_o, мм
0,22 ± 0,005	1,00 ± 0,005	174 ± 0,5	174 ± 0,5

Таблица 3: Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины		Погрешности	
	x ₁ , м	x ₂ , м	t ₁ , с	t ₂ , с	Y = x ₂ - x ₁ , м	Z = $\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$, с ²	ΔY, м	ΔZ, с ²
1	0,15	0,40	2,10	3,30	0,25	3,24	0,007	0,391
2	0,15	0,50	1,40	2,90	0,35	3,225	0,007	0,322
3	0,15	0,70	1,30	3,40	0,55	4,935	0,007	0,364
4	0,15	0,90	1,40	4,10	0,75	7,425	0,007	0,433
5	0,15	1,10	1,30	4,50	0,95	9,28	0,007	0,468

Задание 2: Измерение времени движения тележки по рельсу при разных углах наклона рельса к горизонту

Таблица 4: Результаты прямых измерений (Задание 2)

N _{ПЛ}	h, мм	h', мм	№	t ₁ , с	t ₂ , с
1	183	175	1	1,40	4,60
			2	1,40	4,60
			3	1,40	4,60
			4	1,40	4,50
			5	1,40	4,60
2	194	176	1	1,00	3,20
			2	1,00	3,20
			3	1,00	3,20
			4	1,00	3,20

			5	0,90	3,20		
3	202	177	1	0,70	2,50		
			2	0,80	2,60		
			3	0,80	2,60		
			4	0,70	2,60		
			5	0,80	2,60		
4	211	178	1	0,70	2,20		
			2	0,60	2,20		
			3	0,70	2,30		
			4	0,60	2,30		
			5	0,70	2,20		
5	221	178	1	0,60	2,00		
			2	0,60	2,00		
			3	0,50	2,00		
			4	0,60	2,00		
			5	0,60	2,00		
$N_{\text{пл}}$ – количество пластин							
h – высота на координате $x = 0,22$ м							
h' – высота на координате $x' = 1,00$ м							

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Задание 1

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = \frac{19,03775}{186,501475} \cong 0,102 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a \cdot Z_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = \sqrt{\frac{0,00916}{746,0059}} \cong 0,0035 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0,007 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\% = 6,86\%$$

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	0,01026	$1,400 \pm 0,100$	$4,580 \pm 0,110$	$0,100 \pm 0,060$
2	0,02308	$0,980 \pm 0,110$	$3,200 \pm 0,100$	$0,205 \pm 0,016$
3	0,03205	$0,760 \pm 0,116$	$2,580 \pm 0,110$	$0,313 \pm 0,032$
4	0,04231	$0,660 \pm 0,116$	$2,200 \pm 0,110$	$0,423 \pm 0,048$
5	0,05513	$0,580 \pm 0,110$	$2,000 \pm 0,100$	$0,519 \pm 0,030$

$N_{\text{ПЛ}}$ – количество пластин

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

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \cdot \sin \alpha_i) - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = 9,6403 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \cdot \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = -0,00218$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B \cdot \sin \alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2) \cdot (N-2)}} = 0,463 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 0,17 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 1,73\%$$

10. Расчет погрешностей измерений.

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0,007 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 6,86\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 0,926 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

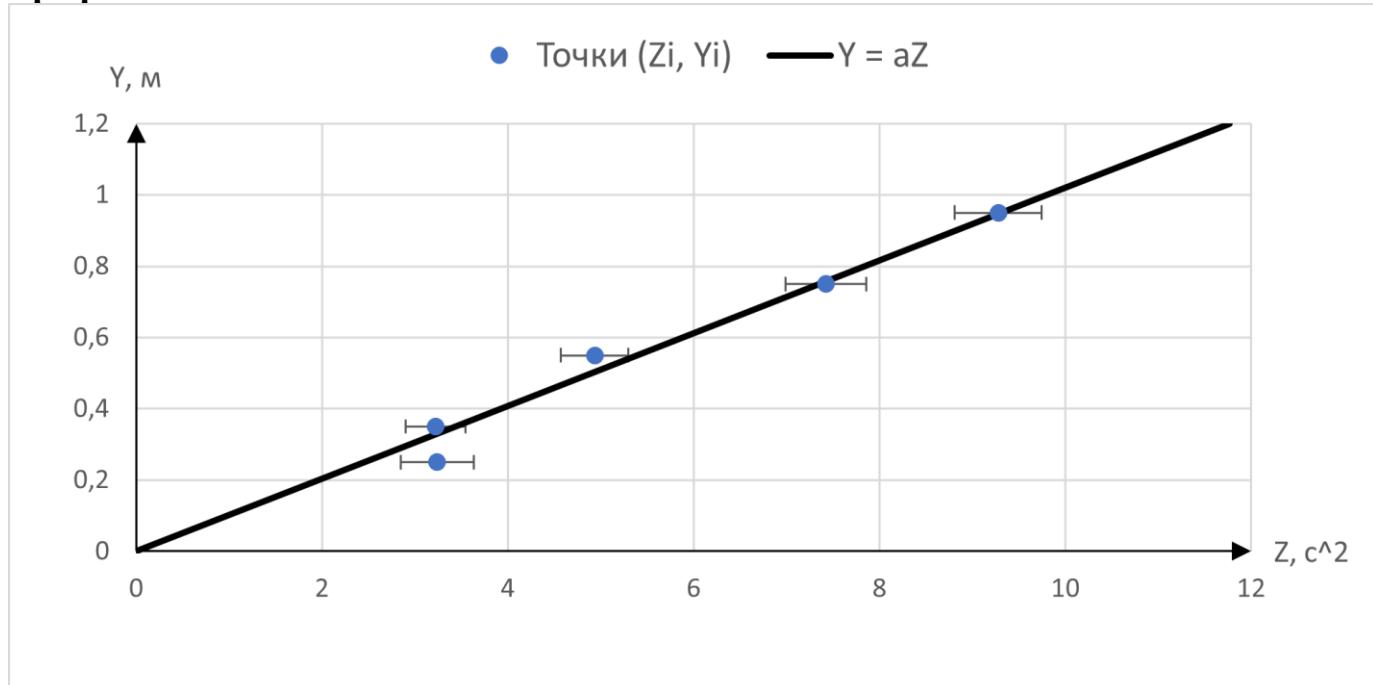
$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = 9,44\%$$

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

11. Графики.

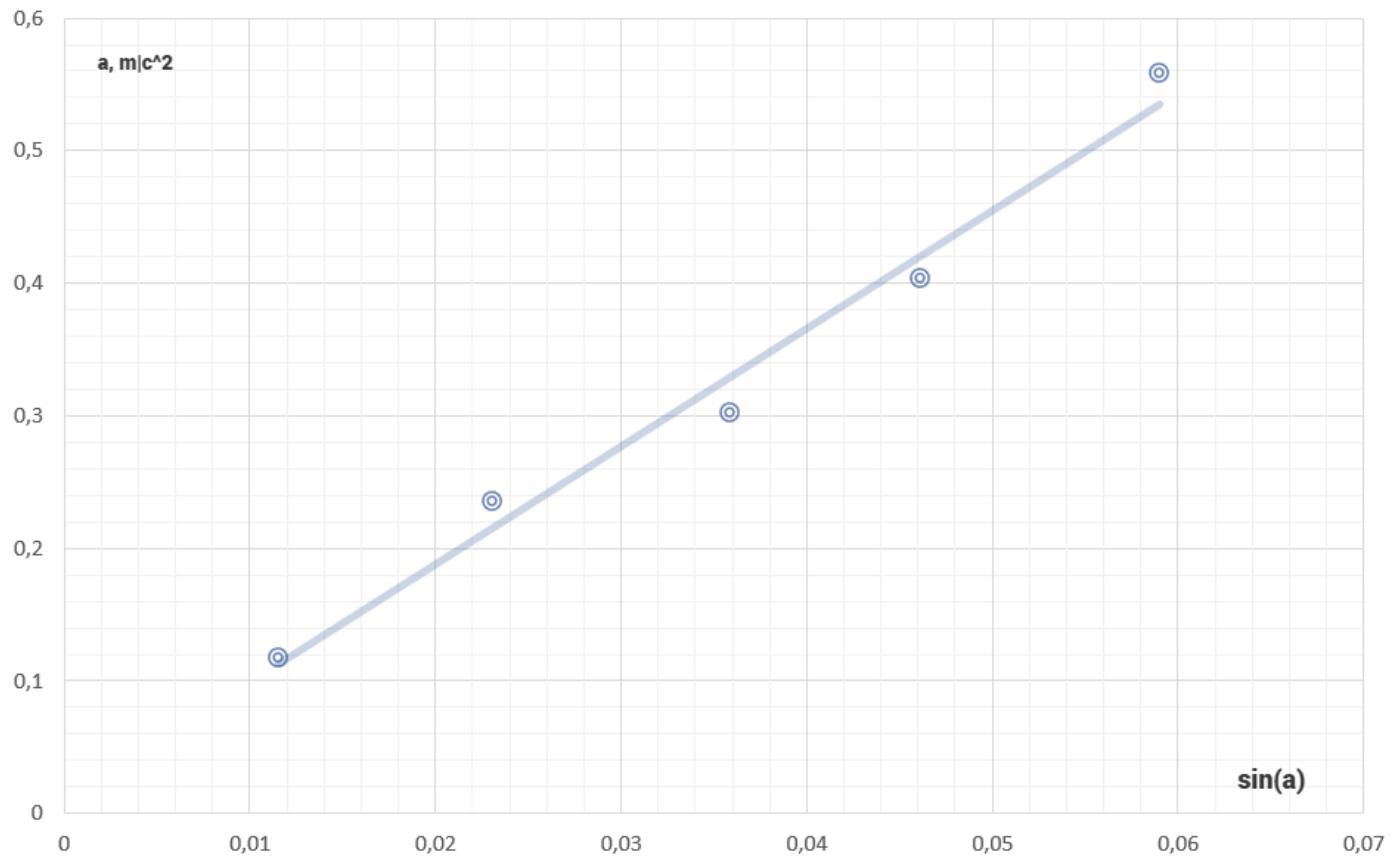
Задание 1

График 1. Зависимость Y от Z



Задание 2

График 2. Зависимость a от $\sin(a)$



12. Окончательные результаты.

$$a = 0,102 \pm 0,007 \frac{M}{c^2} \quad \varepsilon_a = 6,86\%$$

$$g = 9,640 \pm 0,926 \frac{M}{c^2} \quad \varepsilon_g = 9,44\%$$

$$|g - g_{\text{табл}}| = 0,17 \frac{M}{c^2} \quad \varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 1,73\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы было измерено время движения тележки по наклонному рельсу при различных углах наклона. На основе экспериментальных данных проведены соответствующие расчёты.

Построенный график зависимости $Y(Z)$ демонстрирует её линейный характер. Это подтверждает, что движение тележки по наклонной плоскости является равноускоренным.

Сравнение результатов расчётов показало существенное расхождение между: отклонением экспериментального значения от табличного $|g - g_{\text{табл}}| = 0,17$

Указанные расхождения скорее всего обусловлены следующим фактором: ограниченным количеством проведённых измерений, что не позволило получить более точные результаты