

Группа М3215

К работе допущен

Студент Лавренев Д.А., Васильков Д.А.

Работа выполнена

Преподаватель Тимофеева Э.О.

Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №

Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

1. Цель работы.

- 1) Экспериментальная проверка равноускоренного 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 тележки по рельсу при разных углах наклона рельса к горизонту.
- 3) Исследования движения тележки при фиксированном угле наклона рельса. Проверка равноускоренного движения тележки.
- 4) Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения.

3. Объект исследования.

Замер времени, за которое тележка пройдет оптические ворота, ее скорость ускорение.

4. Метод экспериментального исследования.

Измерение времени прохождения тележкой оптических ворот с помощью ПЦК - 3 режиме секундомера, изменяя расстояние между ними и угол наклона рельса.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1) Вспомогательные переменные:

$$Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$$
$$Y = x_2 - x_1$$

2) Ускорение тележки:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}$$

3) Среднеквадратичное отклонение ускорения:

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

4) Абсолютная погрешность ускорения:

$$\Delta_a = 2\sigma_a$$

5) Относительная погрешность ускорения:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \times 100\%$$

6) Синус угла наклона рельса к горизонту:

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

7) Значение ускорения:

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

8) Погрешность ускорения:

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

9) Коэффициенты линейной зависимости:

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

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

10) Вспомогательные переменные:

$$d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i)$$

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

11) Среднеквадратичное отклонение ускорения свободного падения:

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

12) Абсолютная погрешность отклонения ускорения свободного падения:

$$\Delta_g = 2\sigma_g$$

13) Относительная погрешность отклонения ускорения свободного падения

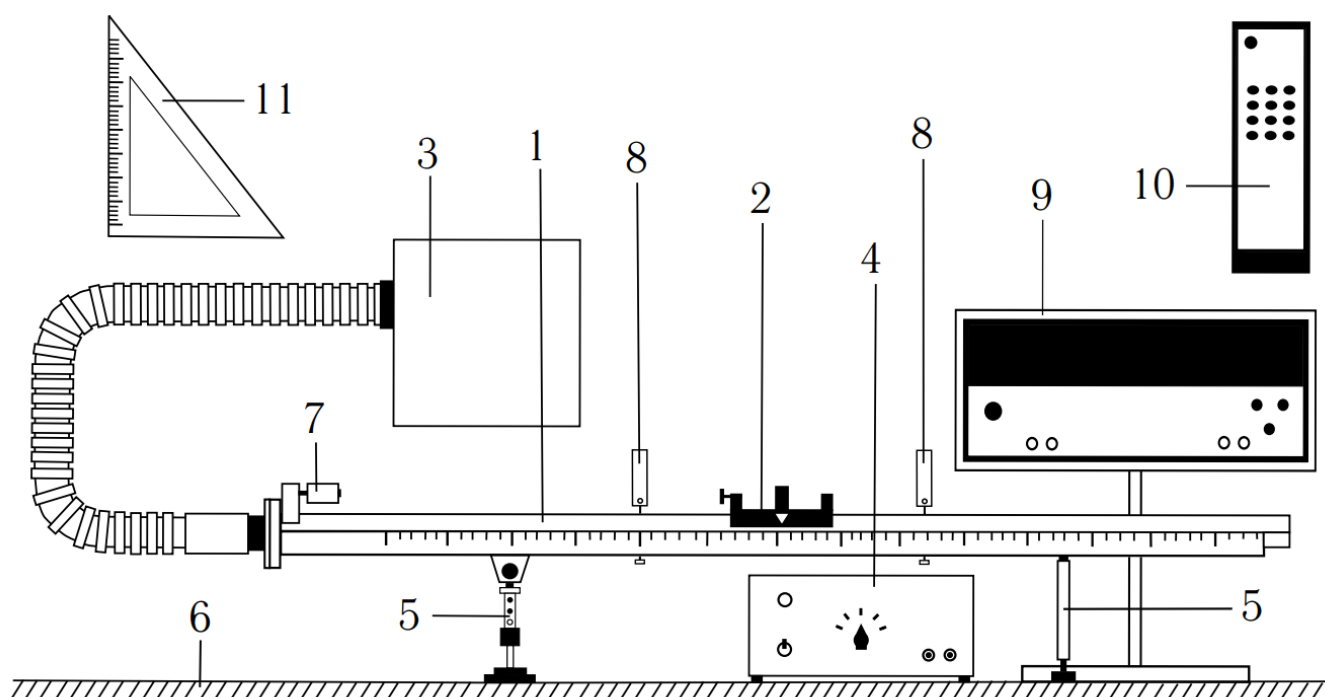
$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \times 100\%$$

6. Измерительные приборы. Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Линейка-угольник	Аналоговый	(0; 250) мм	0.5 мм

2	Линейка на рельсе	Аналоговый	(0; 1,3) м	0.005 м
3	ПЦК-3 в режиме секундомера	Цифровой	(0; 100) с	0.1 с

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



- 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 (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 2. Параметры установки.

x , м	x' , м	h_0 , мм	h'_0 , мм
0,22 м	1 м	192	192

Приборные погрешности: $\Delta x = \Delta x' = 5$ мм, $\Delta h = \Delta h_0 = 0,5$ мм, $\Delta t = 0,1$

Таблица 3. Измерительные величины и результаты 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 м	0,4 м	1,4 с	2,6 с	0,25 м	$2,4 \text{ с}^2$
2	0,15 м	0,5 м	1,4 с	3,1 с	0,35 м	$3,825 \text{ с}^2$
3	0,15 м	0,7 м	1,4 с	3,7 с	0,55 м	$5,865 \text{ с}^2$
4	0,15 м	0,9 м	1,4 с	4,2 с	0,75 м	$7,84 \text{ с}^2$
5	0,15 м	1,1 м	1,3 с	4,6 с	0,95 м	$9,735 \text{ с}^2$

Таблица 4. Результаты прямых измерений. (Задание №2).

$N_{\{\text{пл}\}}$	$h, \text{мм}$	$h', \text{мм}$	N°	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$
1	200 мм	192 мм	1	1,4 с	4,7 с
			2	1,4 с	4,7 с
			3	1,4 с	4,7 с
			4	1,4 с	4,7 с
			5	1,6 с	4,8 с
2	210 мм	192 мм	1	0,9 с	3,2 с
			2	1 с	3,2 с
			3	0,9 с	3,2 с
			4	1 с	3,2 с
			5	1 с	3,2 с
3	219 мм	193 мм	1	0,8 с	2,6 с
			2	0,8 с	2,7 с
			3	0,8 с	2,6 с
			4	0,8 с	2,6 с
			5	0,8 с	2,6 с
4	228 мм	193 мм	1	0,7 с	2,2 с
			2	0,7 с	2,2 с
			3	0,7 с	2,3 с
			4	0,6 с	2,2 с
			5	0,7 с	2,3 с
5	238 мм	193 мм	1	0,6 с	2 с
			2	0,6 с	2 с
			3	0,6 с	2 с
			4	0,6 с	2 с
			5	0,6 с	2,1 с

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов)

Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения

Таблица 5. Результаты расчетов. (Задание №2).

$N_{\text{пл}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, c$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, c$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \frac{m}{c^2}$
1	-0,010	$1,44 \pm 0,13 c$	$4,72 \pm 0,087 c$	$0,025 \pm 0,001, \frac{m}{c^2}$
2	-0,023	$0,96 \pm 0,095 c$	$3,2 \pm 0,067 c$	$0,075 \pm 0,004, \frac{m}{c^2}$
3	-0,034	$0,8 \pm 0,067 c$	$2,62 \pm 0,087 c$	$0,177 \pm 0,013, \frac{m}{c^2}$
4	-0,046	$0,68 \pm 0,087 c$	$2,24 \pm 0,095 c$	$0,329 \pm 0,032, \frac{m}{c^2}$
5	-0,058	$0,6 \pm 0,067 c$	$2,02 \pm 0,087 c$	$0,511 \pm 0,05, \frac{m}{c^2}$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Задание №1. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса. Проверка равноускоренности движения тележки.

Рассчитаем ускорение тележки методом наименьших квадратов:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = 0,096 \frac{m}{c^2}$$

Найдем её среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = 0,001 \frac{m}{c^2}$$

Абсолютная погрешность коэффициента a для доверительной вероятности $\alpha = 0,90$:

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0,002 \frac{m}{c^2}$$

Относительная погрешность ускорения:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \times 100\% = 2\%$$

Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения

Рассчитаем ускорение свободного падения:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i)^2} = 9,8 \frac{m}{c^2}$$

Найдем её среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0,432 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Абсолютная погрешность коэффициента a для доверительной вероятности $\alpha = 0,90$:

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 0,863 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Относительная погрешность ускорения свободного падения:

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \times 100\% = 0,088\%$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

Задание №1. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса. Проверка равноускоренности движения тележки.

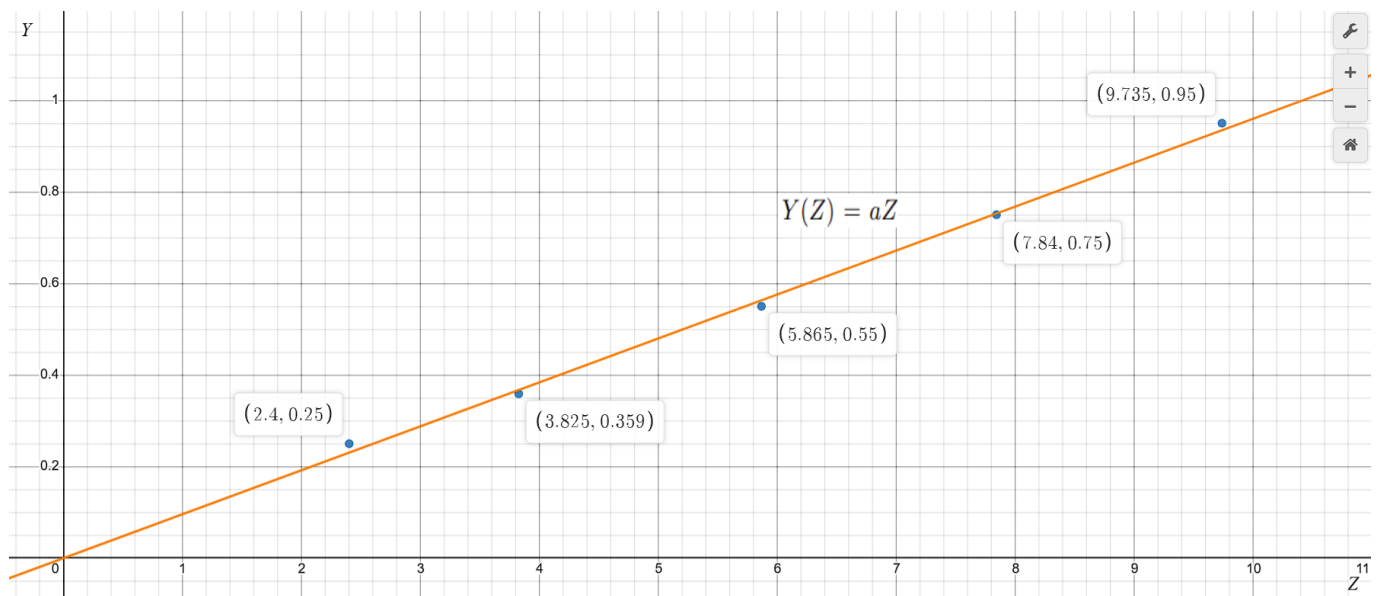


График 1. График зависимости Y от Z

Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения

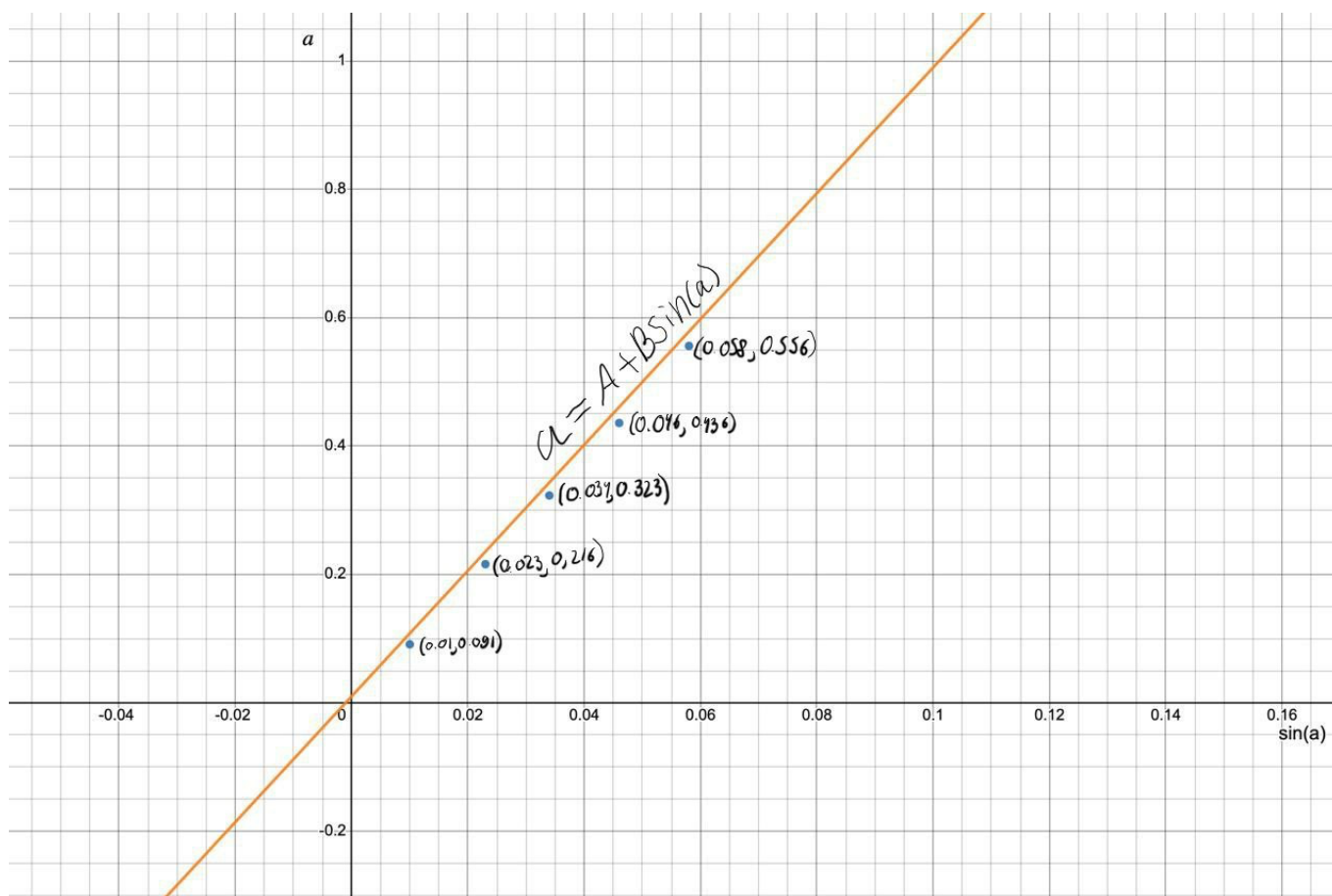


График 2. График зависимости a от $\sin(a)$

12. Окончательные результаты.

Задание №1. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса. Проверка равноускоренности движения тележки.

$$a = [0,096 \pm 0,002] \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_a = 2\% \quad \alpha = 0,90:$$

Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту. Определение ускорения свободного падения

$$g = [9,8 \pm 0,863] \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_g = 0,088\%. \quad a = 0,90:$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Задание №1. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса. Проверка равноускоренности движения тележки.

Движение тележки - равноускоренное, так как экспериментальные данные подтверждают линейную зависимость перемещения. Разница между квадратами времени прохождения оптических ворот минимальна, а погрешности незначительны.

Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту.
Определение ускорения свободного падения

Результаты измерений достоверны, так как разница между полученным и табличным значением ускорения свободного падения для Санкт-Петербурга меньше абсолютной погрешности измерений, полученной в ходе эксперимента.

Вашильков Владимир
Лавренев Владимир M3215
29.09.2023 W 1.02
Александр

<https://study.physics.itmo.ru>

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	0,4	1,4	2,6		
2	0,15	0,5	1,4	3,1		
3	0,15	0,7	1,4	3,7		
4	0,15	0,9	1,4	4,2		
5	0,15	1,1	1,3	4,6		

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	20	19,2	1	1,4	4,7
			2	1,4	4,7
			3	1,4	4,7
			4	1,4	4,7
			5	1,6	4,8
2	21	19,2	1	0,9	3,2
			2	1,0	3,2
			3	0,9	3,2
			4	1,0	3,2
			5	1,0	3,2
3	21,9	19,25	1	0,8	2,6
			2	0,8	2,7
			3	0,8	2,6
			4	0,8	2,6
			5	0,8	2,6
4	22,8	19,25	1	0,7	2,2
			2	0,7	2,2
			3	0,7	2,3
			4	0,6	2,2
			5	0,7	2,3
5	23,8	19,3	1	0,6	2,0
			2	0,6	2,0
			3	0,6	2,0
			4	0,6	2,0
			5	0,6	2,1

$N_{\text{пл}}$ - количество пластин
 h - высота на координате $x = 0,22 \text{ м}$
 h' - высота на координате $x' = 1,00 \text{ м}$