

Группа М3205

К работе допущен _____

Студент Аврора Степанюк, Виктория Тросько

Работа выполнена _____

Преподаватель Хвастунов Н.Н.

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, 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.

3. Объект исследования.

Движение тележки по наклонной плоскости.

4. Метод экспериментального исследования.

Эксперимент.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Коэффициент a в зависимости $Y = aZ$ и его среднеквадратическое отклонение

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

2. Абсолютная и относительная погрешность ускорения

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

3. Синус угла наклона рельса к горизонту

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

4. Ускорение и его погрешность для каждой серии измерений

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

$$\Delta a = \langle a \rangle \sqrt{\frac{\Delta x_{H2}^2 + \Delta x_{H1}^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \frac{(\langle t_1 \rangle_{\Delta} t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle_{\Delta} t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$$

5. Линейная зависимость между перемещением и полуразностью квадратов значений времени

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

6. Коэффициенты линейной зависимости

Теоретическая зависимость a от $\sin \alpha$ в соответствии с $a = g (\sin \alpha - \mu)$ имеет линейный характер: $a = A + B \sin \alpha$, где $A = -\mu g$, $B = g$, т. е. коэффициент B равен ускорению свободного падения.

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

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

7. СКО для ускорения свободного падения

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

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

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

8. Абсолютная и относительная погрешность g

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

9. Для вычисления погрешностей:

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta_a \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta_b \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta_c \right)^2 + \dots}$$

$$\Delta_a = \frac{2}{3} \Delta_{ia}; \quad \Delta_b = \frac{2}{3} \Delta_{ib}; \quad \Delta_c = \frac{2}{3} \Delta_{ic}; \quad \dots$$

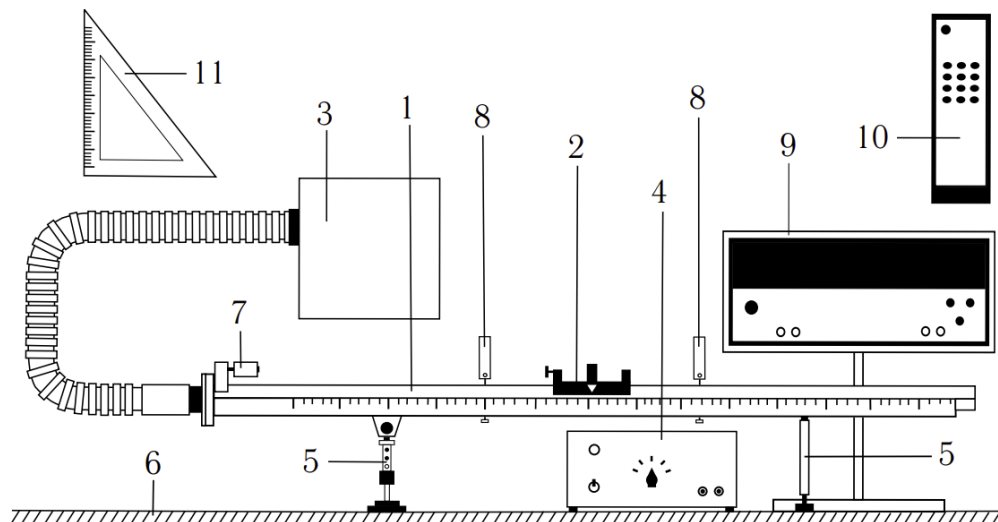
$$\varepsilon_z = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln z}{\partial a} \Delta_a \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln z}{\partial b} \Delta_b \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln z}{\partial c} \Delta_c \right)^2 + \dots} \cdot 100\%$$

6. Измерительные приборы.

Таблица 1: Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	130 см	1 см	0,5 см
2	Линейка на угольнике	25 см	0,1 см	0,05 см
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0,1 с	0,1 с

7. Схема 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.

Таблица 2:

$x, \text{м}$	$x', \text{м}$	$h_0, \text{мм}$	$h'_0, \text{мм}$
0,22	1	193	219

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	1,3	2,6	0,25	2,54
2	0,15	0,5	1,3	3,1	0,35	3,96
3	0,15	0,7	1,3	3,6	0,55	5,64
4	0,15	0,9	1,3	4,1	0,75	7,56
5	0,15	1,1	1,3	4,6	0,95	9,74

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	178	168	1,3	4
			1,2	4,1
			1,2	4,1
			1,4	4,2
			1,3	4,2
2	187	175	1,1	3,2
			1	3,2
			1,3	3,4
			1,4	3
			1,1	3,2
3	213	186	1,1	2,9
			1	2,8
			1,1	2,9
			0,9	3,1
			1	3,2
4	225	195	0,7	2,3
			0,7	2,3
			0,6	2,2
			0,7	2,2
			0,7	2,3
5	235	200	0,6	2
			0,6	2
			0,6	1,9
			0,6	2
			0,6	2

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

Таблица 5: Результаты расчетов (Задание 2)

$N_{\text{пл}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta_{t_1}$, с	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta_{t_2}$, с	$\langle a \rangle \pm \Delta_a, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1	0,046	$1,28 \pm 0,07$	$4,12 \pm 0,07$	$0,124 \pm 0,05$
2	0,049	$1,18 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,09$	$0,215 \pm 0,015$
3	0,068	$1,02 \pm 0,07$	$2,98 \pm 0,1$	$0,24 \pm 0,019$

4	0,072	$0,68 \pm 0,06$	$2,26 \pm 0,06$	$0,41 \pm 0,024$
5	0,078	$0,6 \pm 0,05$	$1,98 \pm 0,05$	$0,53 \pm 0,034$
$N_{\text{Пл}}$ – количество пластин $\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N t_{1i,2i}$				

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Для первого задания:

$$\text{МНК: } a \approx 0,097 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{СКО: } \sigma_a \approx 0,0013 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Для второго задания:

$$B \equiv g = 10,27 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A = -0,34 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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

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

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины		Погрешности			
	$x_1, \text{м}$	$x_2, \text{м}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$x_2 - x_1, \text{м}$	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{с}^2$	$\Delta_Y, \text{м}$	$\Delta_Z, \text{м}$	$\varepsilon_Y, \%$	$\varepsilon_Z, \%$
1	0,15	0,4	1,3	2,6	0,25	2,54	0,005	0,203	2	7,99
2	0,15	0,5	1,3	3,1	0,35	3,96	0,005	0,308	2	7,7
3	0,15	0,7	1,3	3,6	0,55	5,64	0,005	0,371	2	6,05
4	0,15	0,9	1,3	4,1	0,75	7,56	0,005	0,258	2	3,41
5	0,15	1,1	1,3	4,6	0,95	9,74	0,005	0,239	2	2,45

$$\Delta_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial t_1} \Delta_{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial t_2} \Delta_{t_2}\right)^2} = \sqrt{(-t_1 \cdot \Delta_{t_1})^2 + (t_2 \cdot \Delta_{t_2})^2}$$

$$\Delta_{g_{\text{табл}}} = |g - g_{\text{табл}}| = 10,27 - 9,81 = 0,46 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{\Delta_{g_{\text{табл}}}}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = \frac{0,46}{9,81} \cdot 100\% = 4,69\%$$

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 2 \cdot 0,0013 = 0,0026 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = \frac{0,0026}{0,097} \cdot 100\% = 2,68\%$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = \frac{4,4}{9,81} \cdot 100\% = 44,85\%$$

11. Графики.

График 1: Зависимость $Y(Z)$

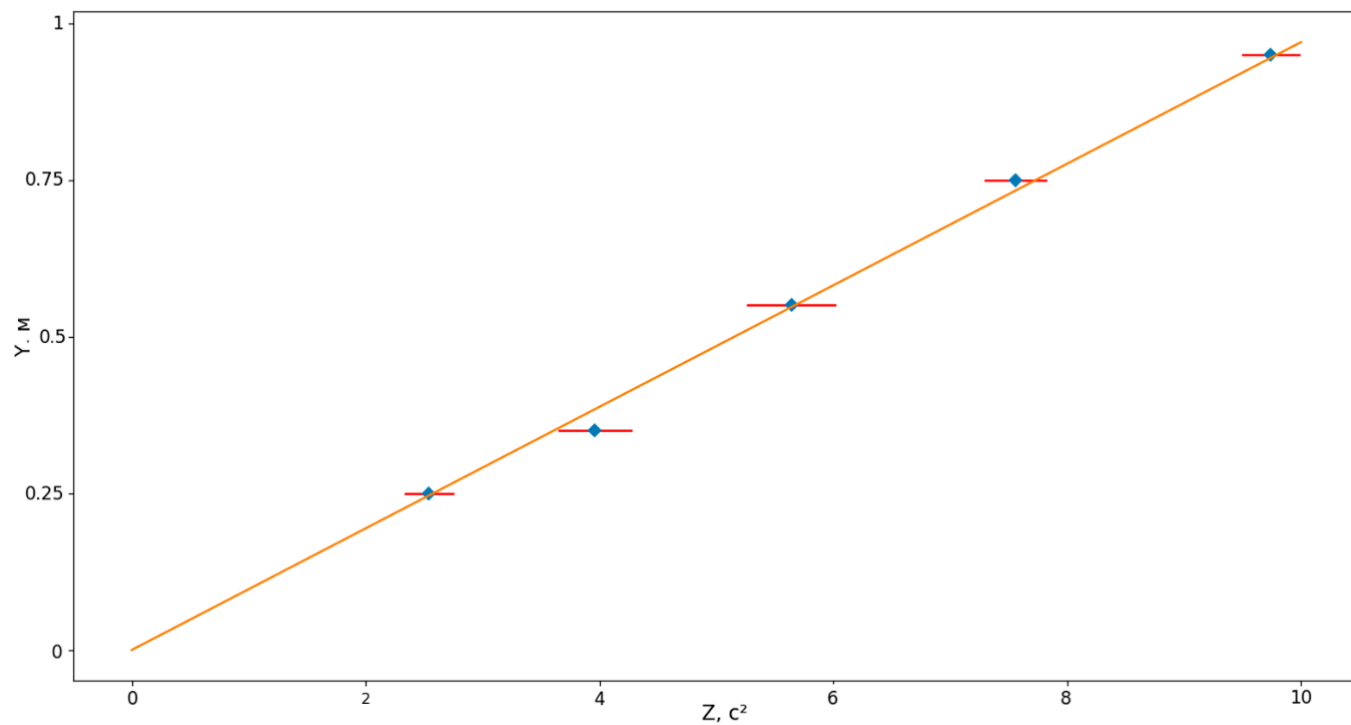
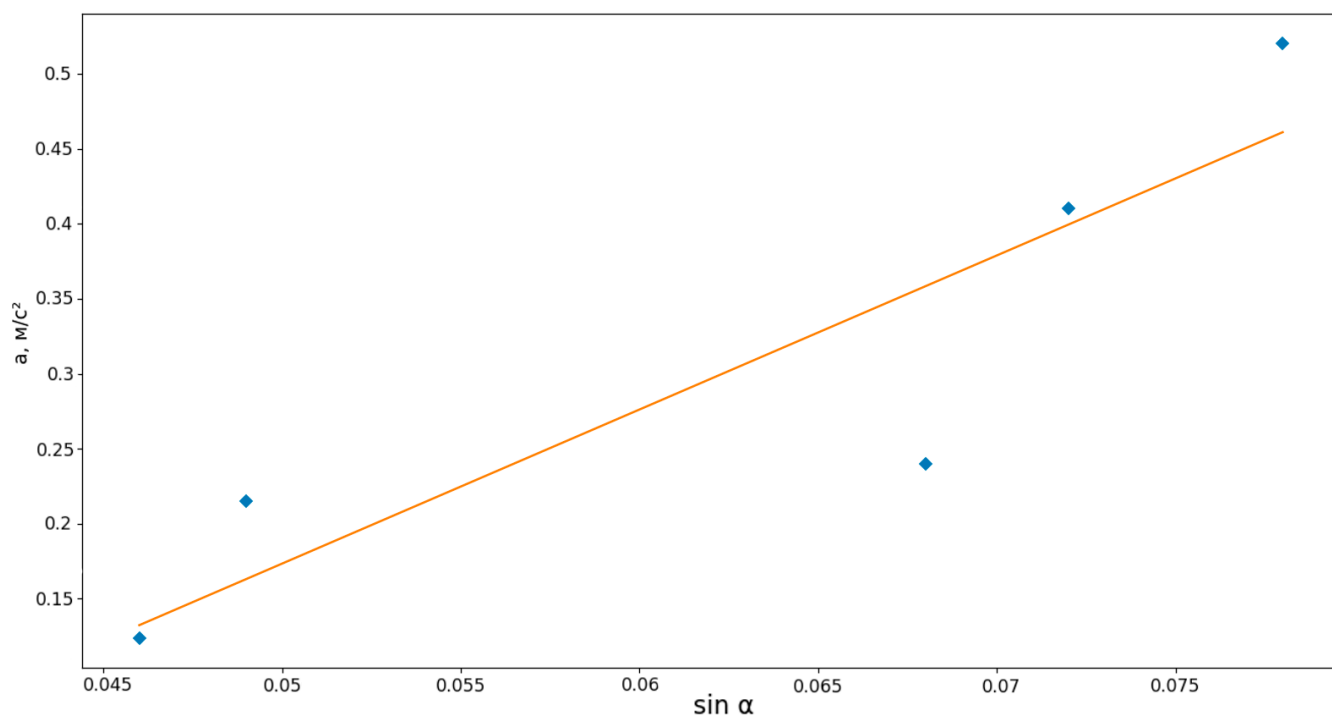


График 2: Аппроксимирующая линейная зависимость $a = A + B \sin \alpha$



12. Окончательные результаты.

$$a = (0,097 \pm 0,003) \frac{M}{c^2}; \varepsilon_a = 2,68\%; \alpha = 0,9$$

$$g = (10,3 \pm 4,4) \frac{M}{c^2}; \varepsilon_g = 44,85\%; \alpha = 0,9$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В процессе выполнения работы мы провели ряд экспериментов, которые помогли проверить основные законы равноускоренного движения, исследовали время движения тележки при разных обстоятельствах, проверили равноускоренность движения тележки, а также определили ускорение свободного падения. Также нам удалось рассчитать характеристики равноускоренного движения, их погрешности и построить графики зависимости при разном наклоне опорной плоскости от времени в квадрате, а также ускорения от синуса угла наклона установки.

Теоретическая зависимость $Y(Z) = aZ$ является линейной функцией, относительная погрешность ускорения составляет 2,68%, а графики, полученные экспериментальным и теоретическим путем практически идентичны, что позволяет сделать вывод о том, что движение тележки можно считать равноускоренным.

Сравнив абсолютную погрешность Δg с модулем разности между табличным и экспериментальным значением $|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}|$ получили, что табличное значение g входит в доверительный интервал экспериментально полученных значений, что позволяет сделать вывод о достоверности результатов измерений. Однако, относительная погрешность ε_g составляет 44,85%, что говорит о недостаточной точности измерений. Это связано с погрешностью инструментов, используемых для измерения, оборудования, наличием силы трения, которая полностью не компенсируется насосом, а также трудностями с эксплуатацией установки.

14. Замечания преподавателя

- 1) На графиках лишние нули и слишком мелкие подписи (и буквы и цифры)
- 2) В окончательных результатах количество знаков проверьте