

Группа М3213

К работе допущен _____

Студент Губанов Константин

Работа выполнена _____

Преподаватель Хуснутдинова Наира
Рустемовна

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

Тележка, скользящая по наклонной плоскости с воздушной подушкой.

4. Метод экспериментального исследования

Многократные измерения времени прохождения тележки через оптические ворота и проверка теории скользящего по наклонной поверхности тела.

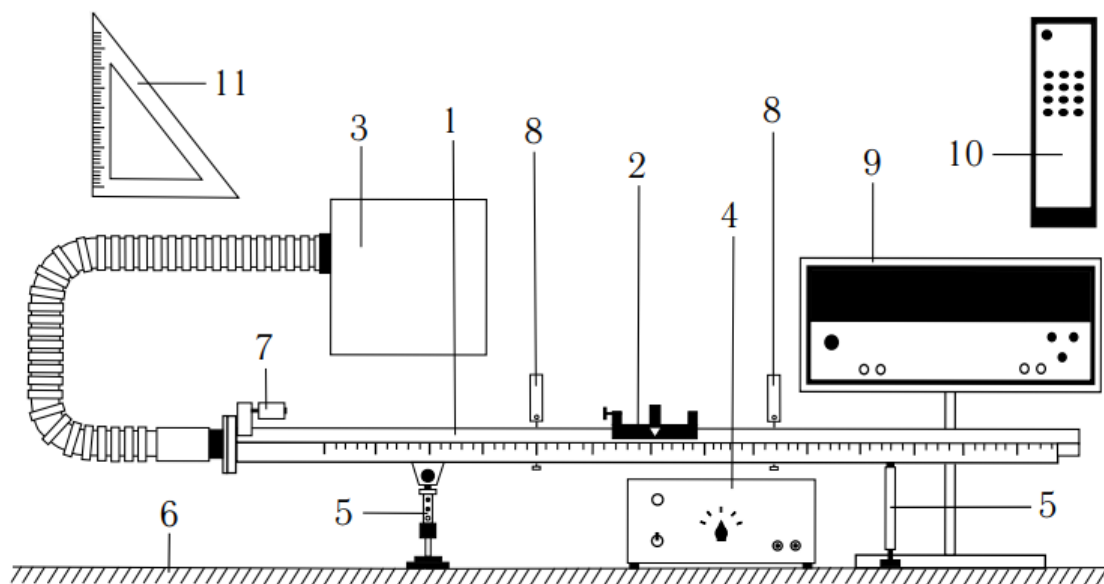
5. Рабочие формулы и исходные данные

- Ускорение тележки: $a = \frac{\sum Z_i Y_i}{\sum Z_i^2}$
- СКО ускорения: $\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum Z_i^2}}$
- Значение угла наклона рельса к горизонту: $\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x}$
- Значение ускорения: $\bar{a} = \frac{2(x_2 - x_1)}{t_2^2 - t_1^2}$
- Коэффициенты линейной зависимости для определения ускорения свободного падения:
 - Коэффициент В (ускорение свободного падения g): $B \equiv g = \frac{\sum a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum a_i \sum \sin \alpha_i}{\sum \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum \sin \alpha_i)^2}$
 - Коэффициент А: $A = \frac{1}{N} (\sum a_i - B \sum \sin \alpha_i)$
- СКО для ускорения свободного падения: $\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{D(N-2)}}$, где $d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i)$ и $D = \sum \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum \sin \alpha_i)^2$

6. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	$\Delta_{\text{и}}$
1	Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	5 мм
2	Линейка на угольнике	340 мм	1 мм/дел	0,5 мм
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0,1 с	0,1 с

7. Схема установки.



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

Таблица 2. Координаты высоты:

x , м	x' , м	h_0 , мм	h'_0 , мм
0,22	1	210	201

Таблица 3:

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x_1 , м	x_2 , м	t_1 , с	t_2 , с	$x_2 - x_1$, м	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, c^2$

1	0,15	0,4	1,1	2,1	0,25	1,6
2	0,15	0,5	1,1	2,5	0,35	2,52
3	0,15	0,7	1,1	3	0,55	3,895
4	0,15	0,9	1,5	3,6	0,75	5,355
5	0,15	1,1	1,4	4	0,95	7,02

Расчет ускорения методом наименьших квадратов

(МНК) Для нахождения ускорения a методом наименьших квадратов (МНК) используем

формулу: $a = \frac{\sum Z_i Y_i}{\sum Z_i^2}$, где $Y = x_2 - x_1$ и $Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2} \Rightarrow a = \frac{14.1095}{102.03285} \approx 0.1383 \text{ м/с}^2$

Суммируем квадраты отклонений: $\sum (Y_i - aZ_i)^2 = 0.0008256 + 5.933 \times 10^{-6} + 0.0001015 + 0.0001635 + 2.71 \times 10^{-6} = 0.001099273$

Подставляем значения в формулу для σ_a :

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{0.001099273}{(5-1) \cdot 102.03285}} \approx 0.0019 \text{ м/с}^2$$

Таблица 4:

$N_{\text{ПЛ}}$	h , мм	h' , мм	№	t_1 , с	t_2 , с
1	210	201	1	1,4	4,1
			2	1,4	4,1
			3	1,4	4
			4	1,4	4
			5	1,4	4
2	220	202	1	1	3
			2	1	3
			3	1	3
			4	1,1	3
			5	1	3
3	230	203	1	0,9	2,4
			2	0,8	2,4
			3	0,8	2,4
			4	0,9	2,4
			5	0,9	2,4
4	240	204	1	0,8	2,1
			2	0,7	2,1
			3	0,8	2,1
			4	0,7	2,1
			5	0,7	2,1
5	250	205	1	0,6	1,9
			2	0,7	1,9

			3	0,7	1,9
			4	0,7	1,9
			5	0,7	1,9

Обозначения:

$N_{\text{пл}}$ – количество пластин толщиной $d = 1,000$ см

h – высота на координате $x = 0,220$ м

h' – высота на координате $x' = 1,000$ м

9. Расчет результатов косвенных измерений.

1) Вычисление синуса угла наклона рельса с измененными высотами

Формула для вычисления синуса угла наклона рельса к горизонту с измененными высотами:

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

Где:

h — высота рельса в начальной точке $x = 0.22$ м

$h_0 = 210$ мм — начальная высота в точке $x = 0.22$ м

h' — высота рельса в конечной точке $x' = 1.00$ м

$h'_0 = 201$ мм — высота в точке $x' = 1.00$ м

$x = 0.22$ м — координата начальной точки;

$x' = 1.00$ м — координата конечной точки;

$\sin a$ — синус угла наклона рельса.

$$\sin(a_1) = 0$$

$$\sin(a_2) = -0.0115$$

$$\sin(a_3) = -0.0231$$

$$\sin(a_4) = -0.0346$$

$$\sin(a_5) = -0.0462$$

2) Вычисление средних значений времени и их погрешностей

Для $N_{\text{пл}} 1$: $\langle t_1 \rangle = 1,4$, $\langle t_2 \rangle = 4,04$

Для $N_{\text{пл}} 2$: $\langle t_1 \rangle = 1,02$, $\langle t_2 \rangle = 3$

Для $N_{\text{пл}} 3$: $\langle t_1 \rangle = 0,86$, $\langle t_2 \rangle = 2,4$

Для $N_{\text{пл}} 4$: $\langle t_1 \rangle = 0,74$, $\langle t_2 \rangle = 2,1$

Для $N_{\text{пл}} 5$: $\langle t_1 \rangle = 0,68$, $\langle t_2 \rangle = 1,9$

3) Вычисление ускорения и его погрешности Формула для вычисления ускорения:

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

где:

$x_1 = 0.22$ м

$x_2 = 1.00$ м

t_1 и t_2 — средние значения времени для каждой серии.

Теперь давайте рассчитаем a для каждой серии измерений:

Для первой серии ($t_1=1.4$, $t_2=4.04$):

$$\langle a \rangle = \frac{2(1 - 0.22)}{4.04^2 - 1.4^2} \approx 0.1086$$

Для второй серии ($t_1=1.02$, $t_2=3$):

$$\langle a \rangle = \frac{2(1 - 0.22)}{3^2 - 1.02^2} \approx 0.1960$$

Для третьей серии ($t_1=0.86$, $t_2=2.4$):

$$\langle a \rangle = \frac{2(1 - 0.22)}{2.4^2 - 0.86^2} \approx 0.3107$$

Для четвёртой серии ($t_1=0.74$, $t_2=2.1$):

$$\langle a \rangle = \frac{2(1 - 0.22)}{2.1^2 - 0.74^2} \approx 0.4039$$

Для пятой серии ($t_1=0.68$, $t_2=1.9$):

$$\langle a \rangle = \frac{2(1 - 0.22)}{1.9^2 - 0.68^2} \approx 0.4956$$

Вычисление коэффициентов A и B (ускорение свободного падения) Формула для вычисления:

$$B \equiv g = \frac{\sum a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum a_i \sum \sin \alpha_i}{\sum \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} (\sum \sin \alpha_i)^2} = -8.494$$

$$A = \frac{1}{N} \left(\sum a_i - B \sum \sin \alpha_i \right) = 0.107$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{D(N-2)}} = 0.0069$$

Таблица 5:

$N_{\text{пл}}$	$\sin \alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1$, с	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2$, с	$\langle a \rangle \pm \Delta a$, $\frac{M}{c^2}$
1	0	1.40 ± 0.000	4.040 ± 0.024	0.109 ± 0.0017
2	-0.0115	1.020 ± 0.02	3.000 ± 0.000	0.196 ± 0.0020
3	-0.0231	0.860 ± 0.024	2.400 ± 0.000	0.311 ± 0.0038
4	-0.0346	0.740 ± 0.024	2.100 ± 0.000	0.404 ± 0.0052
5	-0.0462	0.680 ± 0.02	1.900 ± 0.000	0.496 ± 0.0062

10. Расчет погрешностей измерений

По формуле $\Delta a = 2\sigma_a$ можем найти абсолютную погрешность коэффициента a для доверительной вероятности, $\Delta a = 0.0121$ м/с²

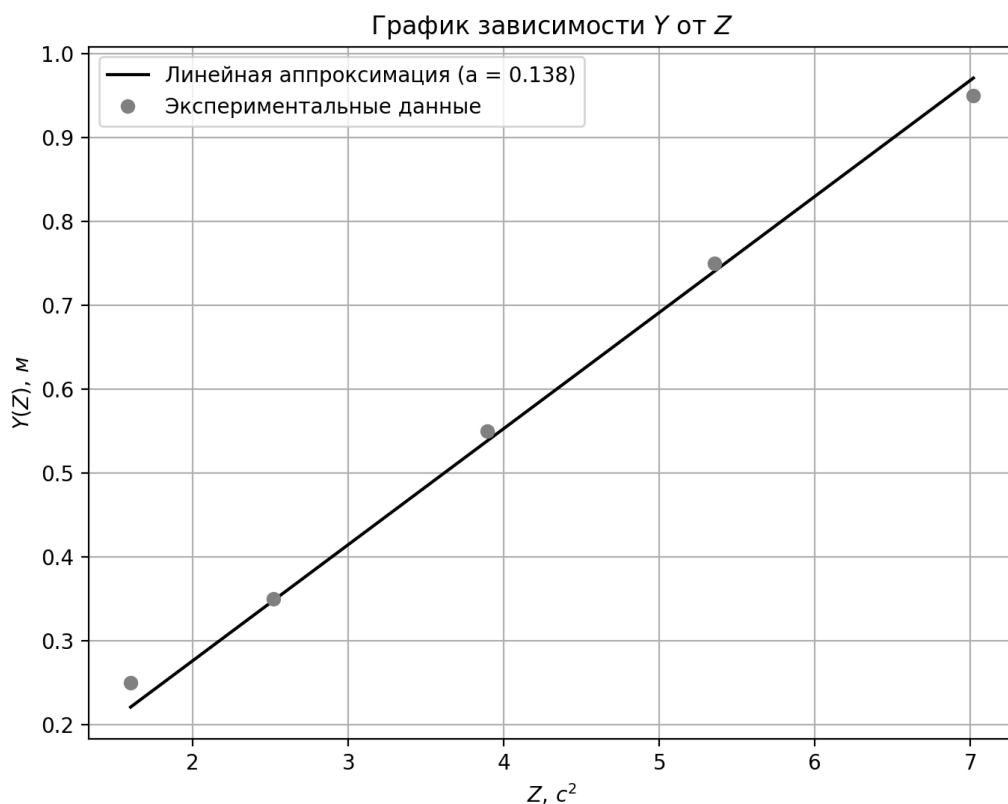
По формуле $\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$ можем найти относительную погрешность ускорения, $\varepsilon_a = 13.24\%$

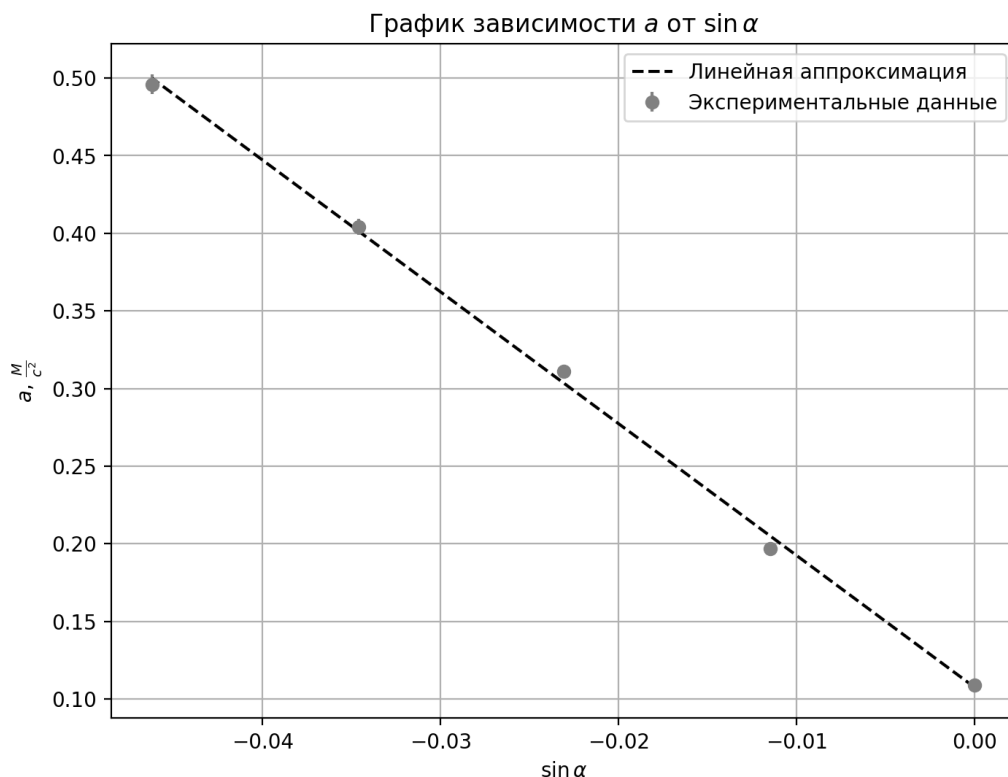
По формуле $\Delta g = 2\sigma_g$ можем найти абсолютную погрешность ускорения свободного падения $\Delta g = 1,128 \text{ м/с}^2$

По формуле $\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\%$ можем найти относительную погрешность g , $\varepsilon_g = 12,82\%$

По формуле $\Delta g = |g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}|$ можем найти абсолютное отклонение экспериментального значения ускорения свободного падения $\Delta g = 1,022 \text{ м/с}^2$

11. Графики.





12. Окончательные результаты.

Относительная погрешность ускорения $\varepsilon_a = 13,24\%$

Абсолютная погрешность коэффициента $a \Delta a = 0,0121$

Значение ускорения свободного падения $g = (8,797 \pm 1,128) \text{ м/с}^2$

Относительная погрешность ускорения свободного падения $\varepsilon_g = 12,82\%$

Абсолютное отклонение экспериментального значения ускорения свободного падения $g_{\text{эксп}}$ от его табличного значения $g_{\text{табл}}$ для Санкт-Петербурга $\Delta g = 1,022 \text{ м/с}^2$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В рамках работы был проведен эксперимент по исследованию равноускоренного движения тележки по наклонной плоскости. Проведены необходимые расчеты и построен график зависимости ускорения (a) от угла наклона плоскости ($\sin \alpha$). Анализ линейности графика подтвердил, что движение является равноускоренным, а ускорение зависит линейно от ($\sin \alpha$).

Также было рассчитано значение ускорения свободного падения (g) на основе данных эксперимента. Экспериментальное значение ускорения свободного падения отличается от табличного значения для города Санкт-Петербург на (1.022 м/с^2) , что укладывается в диапазон абсолютной погрешности, равной (1.128 м/с^2) . Это позволяет сделать вывод о корректности эксперимента.