

Группа М3213

К работе допущен _____

Студент Алексеева Виктория,
Балакирева Виктория

Работа выполнена _____

Преподаватель Громова Наира
Рустемовна

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.02

Цели работы:

1. Экспериментальная проверка равноускоренности движения тележки по наклонной плоскости.
2. Определение величины ускорения свободного падения

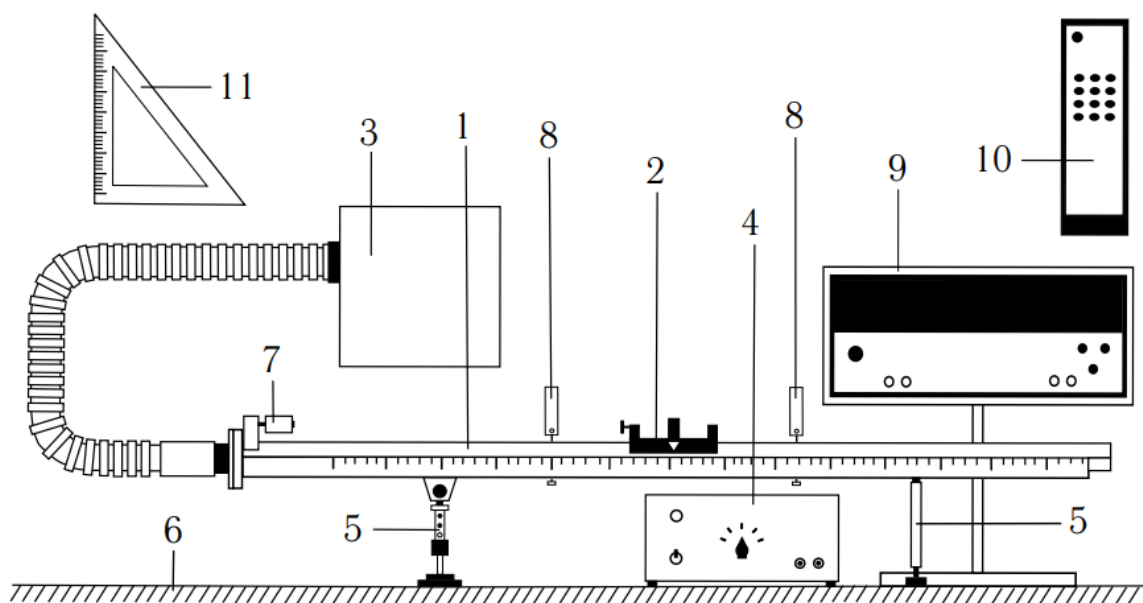
Задачи:

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.

Формулы:

Название	Формула	№
Коэффициент а в $Y = aZ$	$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}$	1
Среднеквадратическое отклонение (СКО) σa	$\sigma a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}}$	2
Абс. погрешность а	$\Delta a = 2 \sigma a$	3
Относительная погрешность ускорения	$\varepsilon a = \Delta a / a \cdot 100\%.$	4
Значение угла наклона рельса к горизонту	$\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x}.$	5
Коэффициенты	$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2};$	6
Коэффициенты	$A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)$	7
СКО для ускорения свободного падения	$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}},$ $d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i),$ $D = \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2.$	8

Установка:



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

Измерительные приборы:

№	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	0,00-15,00 с	0,005 с
2	Линейка на рельсе	0 - 1,3м	5 мм
3	Линейка на угольнике	0 - 250мм	0,5 мм
4	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100с	0,1 с

Ход работы:

Задание 1. Исследование движения тележки при фиксированном угле наклона рельса.
Проверка равноускоренности движения тележки.

Таблица 1.

х, м	х', м	h0, м	h0', м
0,22	1,0	0,188	0,188

Таблица 2. Результаты прямых измерений.

N	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x1, м	x2, м	t1, с	t2, с	x2-x1, м	$\frac{t2^2-t1^2}{2}, c^2$
1	0,15	0,4	2	3,6	0,25	4,48
2	0,15	0,5	1,9	4,1	0,35	6,6
3	0,15	0,7	2	4,9	0,55	10,005
4	0,15	0,9	2	5,6	0,75	13,68
5	0,15	1,1	2	6,2	0,95	17,22

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

Найдем ускорение тележки методом наименьших квадратов (МНК). Так как теоретическая зависимость $Y = aZ$ проходит через начало координат, то коэффициент a и его среднеквадратическое отклонение (СКО) σa можно найти по следующим формулам:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = 0,0549 \text{ м/с}^2$$

$$\sigma a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = 0,00027192$$

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

Таблица 3. Результаты прямых измерений.

Nпл	h, м	h',м	N	t1, с	t2, с
1	0,198	0,189	1	1,3	4,4
			2	1,3	4,3
			3	1,3	4,2
			4	1,3	4,3
			5	1,3	4,2
2	0,206	0,189	1	1,1	3,6
			2	0,9	3
			3	0,9	3
			4	0,9	3,1
			5	0,9	3
3	0,215	0,189	1	0,8	2,7
			2	0,8	2,5
			3	0,8	2,5
			4	0,7	2,5
			5	0,8	2,5
4	0,225	0,191	1	0,7	2,3
			2	0,7	2,2
			3	0,7	2,1
			4	0,7	2,1
			5	0,6	2,1
5	0,235	0,191	1	0,6	2
			2	0,6	2
			3	0,6	2
			4	0,6	2
			5	0,6	2
Nпл - количество пластин h - высота на координате $x = 0,22$ м h ' - высота на координате $x ' = 1,00$ м					

Для каждой серии измерений из Табл. 3 вычислим значение синуса угла наклона рельса к горизонту по формуле:

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

Таблица 4. Результаты расчетов.

Nпл	sin a	$\langle t1 \rangle \pm \Delta t1$, с	$\langle t2 \rangle \pm \Delta t2$, с	$\langle a \rangle \pm \Delta a$, м с ²
1	0,01154	0,9 ± 0,36247	3,00 ± 1,22761	0,11426 ± 0,0010530
2	0,02179	0,86 ± 0,18152	2,80 ± 1,14285	0,21168 ± 0,008491
3	0,03333	0,86 ± 0,33591	2,76 ± 1,11408	0,32516 ± 0,009265
4	0,04359	0,84 ± 0,34722	2,80 ± 1,17288	0,45204 ± 0,041789
5	0,05641	0,84 ± 0,35818	2,76 ± 1,11408	0,52198 ± 0,060868
Nпл - количество пластин $\langle t1,2 \rangle = 1/N \sum t1i,2i$				

Для каждой серии измерений вычислим средние значения времени $t1$ и $t2$ и их погрешности:

$\langle t1,2 \rangle = 1/N \sum t1i,2i$ - средние значения $t1,2$

$a = 0,95$, $ta, N = 2,78$ - коэффициент Стьюдента

$\Delta t1,2 = ta, N \cdot \sigma a$ - погрешности $t1, t2$

Вычислим значение ускорения и его погрешность для каждой серии измерений по формулам:

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

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

где $\Delta x_{и1}$ и $\Delta x_{и2}$ – приборные погрешности измерения координат $x1$ и $x2$; $\Delta t1$ и $\Delta t2$ – абсолютные погрешности значений времен $t1$ и $t2$.

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

Найдем коэффициенты линейной зависимости по следующим формулам:

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2} = 9,43613$$

$$A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = 0,0104989$$

Рассчитаем СКО для ускорение свободного падения по формуле:

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

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

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

$$\sigma_g = 0,61031$$

Погрешности:

1. Погрешности $Y = x_2 - x_1$ и $Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$:

Абсолютная погрешность:

$$\Delta Y = \sqrt{(\Delta x_2)^2 + (\Delta x_1)^2} = 0,045592$$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial t_1} \cdot \Delta t_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial t_2} \cdot \Delta t_2 \right)^2} = 19,3005522$$

2. Погрешности a :

Абсолютная погрешность:

$$\Delta a = 2\sigma_a = 2 \cdot 0,00027192 = 0,00054384$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_a = \Delta a / a \cdot 100\% = 0,9903385409\% = 0,99\%$$

3. Погрешности g :

Абсолютная погрешность:

$$\Delta g = 2\sigma_g = 2 \cdot 0,61031 = 1,22062$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_g = \Delta g / g * 100\% = 12,94\%$$

Абсолютное отклонение экспериментального значения $g_{\text{эксп}}$ от $g_{\text{табл}}$:

$$|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = 9,82 - 9,43613 = 0,38387 \text{ м/с}^2$$

Графики:

График 1. Зависимость $Y(Z) = aZ$.

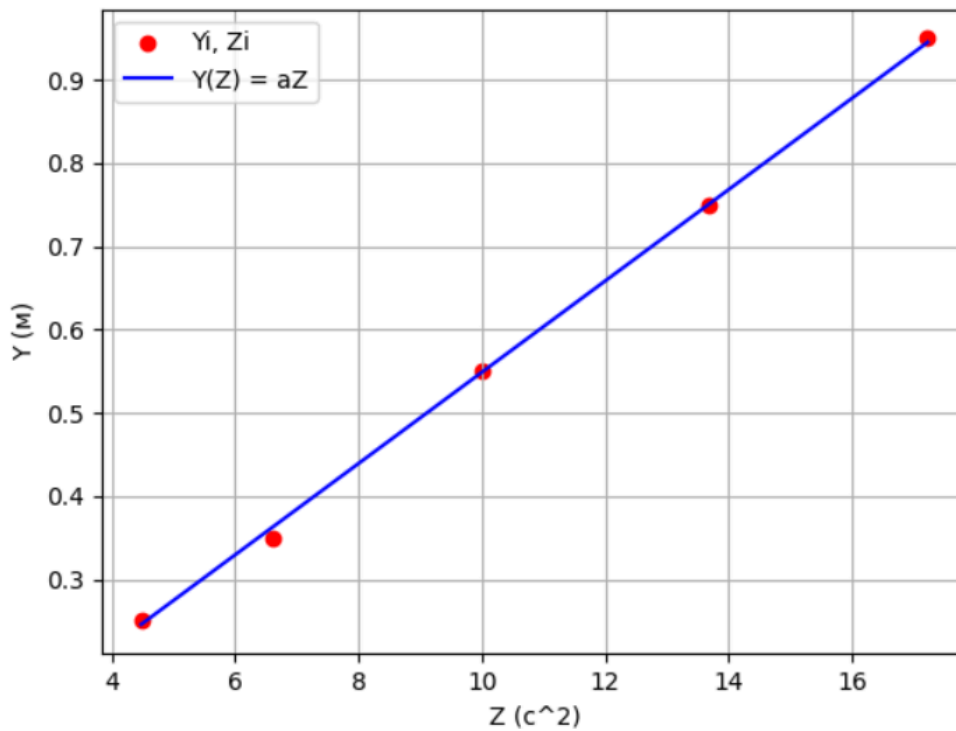
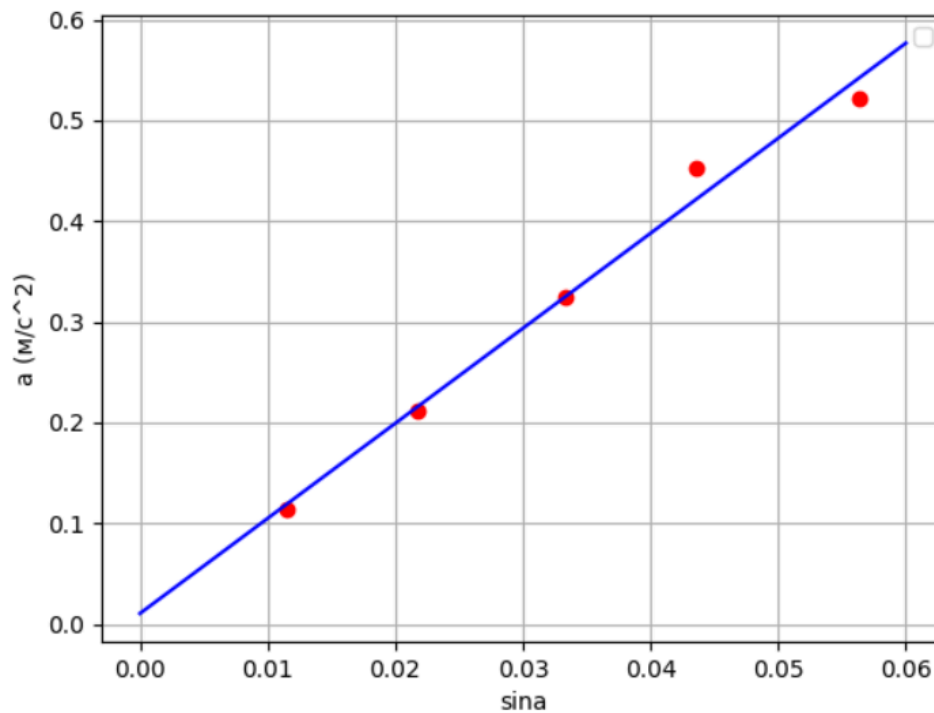


График 2. Зависимость $a = a$



Окончательные результаты:

Доверительный интервал для значения ускорения при одной пластине:

$$a = (0,0549 \pm 0,00054384) \text{ м/с}^2, \varepsilon a = 0,99\%, a = 0,9$$

Доверительный интервал значения ускорения свободного падения:

$$g = (9,43613 \pm 1,22062) \text{ м/с}^2, \varepsilon g = 12,94\%, a = 0,9$$

Вывод:

1. Характер полученного графика скорости тележки указывает на линейную зависимость скорости от времени, что соответствует модели равноускоренного движения. Это подтверждает наличие постоянного ускорения. Значение ускорения $a=0,0549 \text{ м/с}^2$ с доверительным интервалом $0,00054384 \text{ м/с}$ имеет очень малую относительную погрешность $\varepsilon a=0,99\%$. Данный показатель свидетельствует о высокой точности измерений и незначительных колебаниях ускорения, что также указывает на постоянный характер ускорения в ходе движения тележки.
2. Абсолютное отклонение экспериментального значения ускорения свободного падения $g_{\text{эксп}}$ от табличного значения $g_{\text{табл}}$ оказалось меньше абсолютной погрешности Δg . Это свидетельствует о том, что результаты измерений являются достоверными и соответствуют ожидаемым теоретическим значениям.