

Группа_____Р3114_____

Студент_Лагус М.С.

Преподаватель_Куксова П. А.

Работа выполнена__24.03.22__

Отчет сдан_____

Отчет принят_____

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) Провести многократные измерения времени движения тележки по рельсу с фиксированным углом наклона.
- 2) Провести многократные измерения времени движения тележки по рельсу при разных угла наклона рельса к горизонту.
- 3) Вычислить величину ускорения свободного падения g .

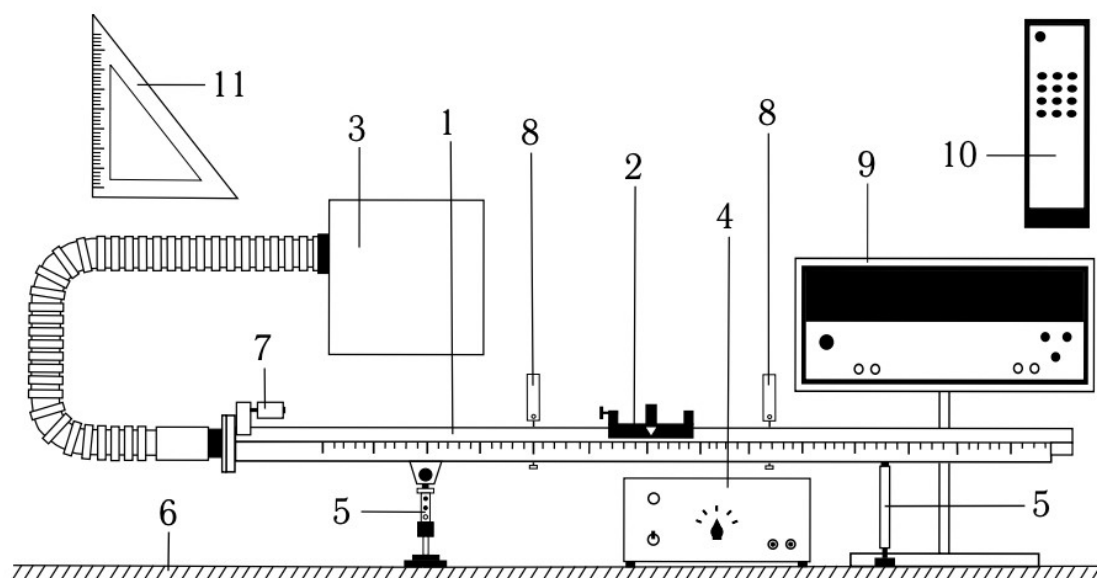
3) Объект исследования.

Величина ускорения свободного падения. Равноускоренное движение тела.

4) Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения.

5) 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

6) Измерительные приборы

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используе мый диапазон	Погрешнос ть прибора
1	Линейка на рельсе	Линейка	[0; 1.3] м	5 мм
2	Линейка на угольнике	Линейка	[0; 250] мм	0,5 мм

3	ПКЦ- в режиме секундомера	Секундоме р	[0; 100] с	0,1с
---	---------------------------	----------------	------------	------

7) Рабочие формулы и исходные данные

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x t \quad (1)$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (2)$$

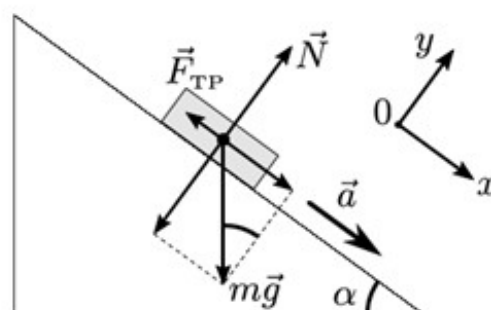
$$x_2 - x_1 = \frac{a}{2} (t_2^2 - t_1^2). \quad (3)$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} \quad (4)$$

$$\begin{cases} 0y : 0 = N - mg \cos \alpha \\ 0x : ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \end{cases} \quad (5)$$

$$a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \quad (6)$$

$$a = g (\sin \alpha - \mu). \quad (7)$$



$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}; \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}}, \quad (8)$$

$$\Delta_a = 2\sigma_a, \quad (9)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\%. \quad (10)$$

$$\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad (11)$$

$$\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2} \quad (12)$$

$$\Delta a = \langle a \rangle \cdot \sqrt{\frac{(\Delta x_{n2})^2 + (\Delta x_{n1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \cdot \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}} \quad (13)$$

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2}; \quad (14)$$

$$A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right). \quad (15)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}}. \quad (16)$$

$$d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i), \quad (17)$$

$$D = \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2. \quad (18)$$

$$\Delta g = 2\sigma_g, \quad (19)$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\%. \quad (20)$$

- (1) – зависимость проекции скорости тела от времени
- (2) – зависимость координаты тела x от времени t
- (3) – следствие из (2), если начальная скорость равна нулю

- (4) – второй закон Ньютона, описывающий движение тележки
- (5) – проекции уравнения (4) на координатные оси
- (6) – следствие из (5) для модуля ускорения
- (7) – формула для ускорения
- (8) – коэффициент a и его среднеквадратичное отклонение
- (9) – абсолютная погрешность коэффициента a
- (10) – относительная погрешность ускорения
- (11) – значение синуса угла наклона рельса к горизонту
- (12) – значение ускорения
- (13) – погрешность ускорения для каждой серии измерений
- (14) – коэффициент линейной зависимости
- (15) – коэффициент линейной зависимости
- (16) – СКО для ускорения свободного падения коэф. B
- (17) – часть формулы (16)
- (18) – часть формулы (16)
- (19) – абсолютная погрешность коэффициента
- (20) – относительная погрешность g

8) Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1. Вертикальные координаты h_0 и h'_0

для $x = 0,22$ м и $x' = 1,0$ м

x , м	x' , м	h_0 , мм	h'_0 , мм
$0,220 \pm 0,005$	$1,000 \pm 0,005$	$154,0 \pm 0,5$	$150,0 \pm 0,5$

Таблица 2. Результаты прямых измерений (Задание 1)

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x_1 , м	x_2 , м	t_1 , с	t_2 , с	$x_2 - x_1$, м	$(t_2^2 - t_1^2)/2$, с
1	0,15	0,40	1,5	2,7	0,25	2,52
2	0,15	0,50	1,5	3,0	0,35	3,37
3	0,15	0,70	1,4	3,6	0,55	5,5
4	0,15	0,90	1,5	4,2	0,75	7,69
5	0,15	1,00	1,4	4,6	0,85	9,6

Таблица 3. Результаты прямых измерений (Задание 2)

N пл	h, мм	h', мм	№	t1, с	t2, с
1	144	149	1	1,1	4,2
			2	1,2	4,3
			3	1,2	4,3
			4	1,2	4,3
			5	1,1	4,2
2	135	148	1	0,9	3,1
			2	0,8	3,0
			3	0,8	3,1
			4	0,8	3,0
			5	0,8	3,0
3	126	148	1	0,7	2,5
			2	0,7	2,5
			3	0,8	2,5
			4	0,7	2,4
			5	0,7	2,5
4	117	147	1	0,6	2,1
			2	0,6	2,2
			3	0,7	2,2
			4	0,6	2,1
			5	0,6	2,2
5	108	146	1	0,5	1,9
			2	0,6	1,8
			3	0,5	1,9
			4	0,6	1,9
			5	0,6	1,9

$N_{пл}$ - количество пластин

h - высота на координате $x = 0,22$ м

h' - высота на координате $x' = 1,00$ м

Таблица 4. Результаты расчетов (Задание 2)

Результаты расчетов (Задание 2)				
№ пл	sin α	t1 ±Δt1	t2 ±Δt2	α ±Δα
1	0,0115	1,16	4,26	0,0928
2	0,0218	0,82	3,04	0,1820
3	0,0333	0,72	2,48	0,2770
4	0,0436	0,62	2,16	0,3644
5	0,0538	0,56	1,88	0,4844

9) Расчет результатов косвенных измерений:

Задание 1.

1. Рассчитываю величины из Таблица 2 (Пример расчета)

$$Y = x_2 - x_1:$$

$$Y_1 = 0,40 - 0,15 = 0,25(\text{м})$$

$$Y_2 = 0,50 - 0,15 = 0,35(\text{м})$$

$$Z = t_{22} - t_{12} \text{ 2: } Z_1 = 2,72 - 1,52 \text{ 2} = 7,29 - 2,25 \text{ 2} = 2,52(\text{с}^2)$$

Погрешности для Y и Z рассчитаны в п.10

2. Нахожу точки экспериментальной зависимости Y_i ; Z_i

$$Y_1 ; Z_1 = 0,250 \pm 0,007; 2,52 \text{ 0,30}$$

$$Y_2 ; Z_2 = 0,350 \pm 0,007; 3,37 \text{ 0,33}$$

$$Y_3 ; Z_3 = 0,550 \pm 0,007; 5,5 \text{ 0,38}$$

$$Y_4 ; Z_4 = 0,750 \pm 0,007; 7,69 \text{ 0,4}$$

$$Y_5 ; Z_5 = 0,850 \pm 0,007; 9,6 \text{ 0,5}$$

3. Ускорение тележки методом наименьших квадратов (МНК)

$$a = 0,25 \cdot 2,52 + 0,35 \cdot 3,37 + 0,55 \cdot 5,5 + 0,75 \cdot 7,69 + 0,85 \cdot 9,62, 522 + 3,372 + 5,52 + 7,692 + 9,62 = 0,0941(\text{м/с}^2)$$

Задание 2.

1. Значение синусов углов наклона рельса к горизонту (примеры расчетов):

$$\sin \alpha = h_0 - h - (h_0' - h')x' - x$$

$$\text{№пл} = 1:$$

$$\sin \alpha = 154 - 144 - (150 - 149)1000 - 220 = 0,0115$$

N_{пл} = 2:

$$\sin\alpha = 154-135-(150-148)1000-220 = 0,0218$$

2. Средние значения t1 и t2 (примеры расчетов):

N_{пл} = 1:

$$t_1 = 1,1+1,2+1,2+1,2+1,15=1,16 \text{ (с)}$$

N_{пл} = 3:

$$t_3 = 0,7+0,7+0,8+0,7+0,75=0,72 \text{ (с)}$$

3. Значения ускорения <a> (примеры расчетов):

N_{пл} = 3:

$$\langle a \rangle_3 = 2*(1,00-0,22)2,482 - 0,722 = 0,0928 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

N_{пл} = 4:

$$\langle a \rangle_4 = 2*(1,00-0,22)2,162 - 0,622 = 0,3644 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

10) Расчет погрешностей измерений

Погрешности Y:

Среднее арифметическое значение входящих в Y измеряемых величин

$$x_1 = 0,15+0,15+0,15+0,15+0,15 \quad 5=0,15 \text{ (м)}$$

$$x_2 = 0,4+0,5+0,7+0,9+1,0 \quad 5=0,7 \text{ (м)}$$

Абсолютные погрешности измерений, входящих в Y

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_{\text{изм}} = 0,005(\text{м})$$

Значение Y

$$Y = x_2 - x_1 = 0,7 - 0,15 = 0,55(\text{м})$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta Y = -1 * 0,0052 + 1 * 0,0052 = 0,007(\text{м})$$

$$\Delta Y_1 = \Delta Y_2 = \Delta Y_3 = \Delta Y_4 = \Delta Y_5 = 0,007 \text{ м,}$$

так как в формуле нет значений x_1 или x_2 , то абсолютная погрешность Y не зависит от них

Погрешности Z:

Среднее арифметическое значение входящих в Z измеряемых величин

$$t_1 = 1,5 + 1,5 + 1,4 + 1,5 + 1,4 \quad 5 = 1,46(\text{с})$$

$$t_2 = 2,7 + 3,0 + 3,6 + 4,2 + 4,6 \quad 5 = 3,6(\text{с})$$

Значение Z

$$Z = t_2 - t_1 = 3,6 - 1,46 = 2,14(\text{с})$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta Z = (t_2 * 0,1)^2 + t_1 * 0,12$$

$$\Delta Z_1 = 2,7 * 0,12 + 1,5 * 0,12 = 0,30(\text{с})$$

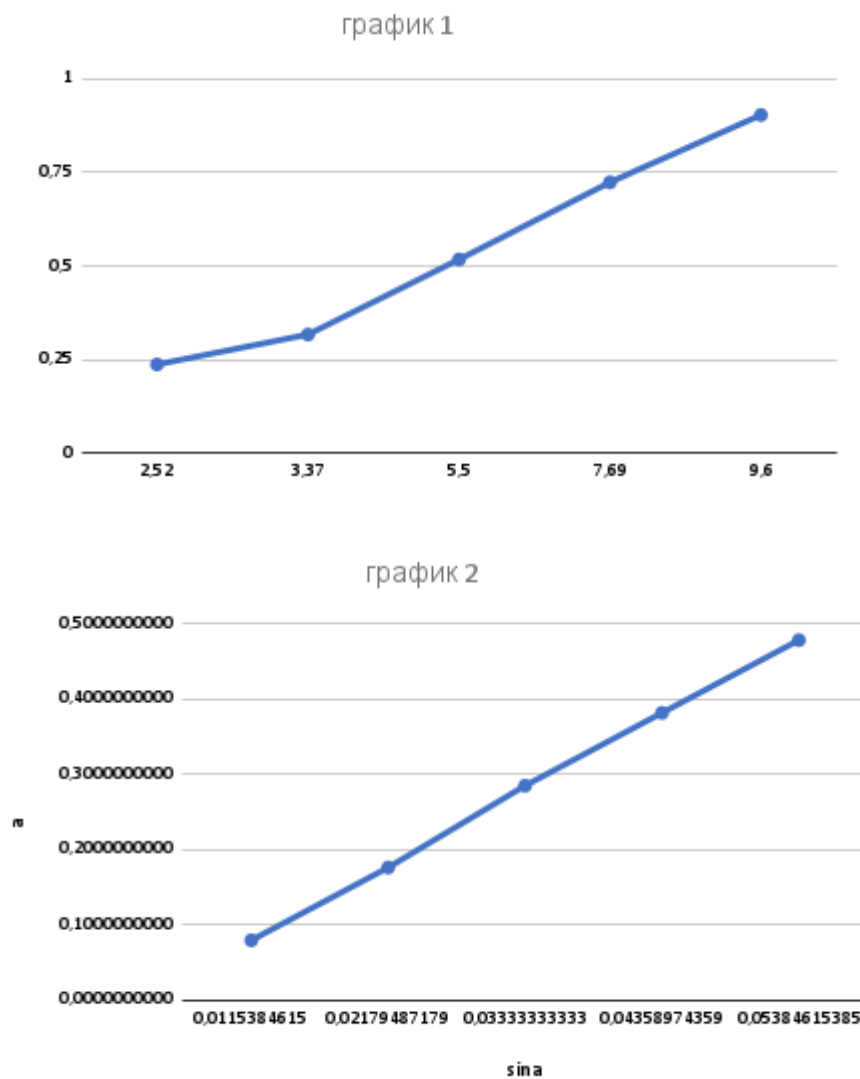
$$\Delta Z_2 = (3 * 0,1)^2 + 1,5 * 0,12 = 0,33(\text{с})$$

$$\Delta Z_3 = (3,6 * 0,1)^2 + 1,4 * 0,12 = 0,38(\text{с})$$

$$\Delta Z_4 = (4,2 * 0,1)^2 + 1,5 * 0,12 = 0,4(\text{с})$$

$$\Delta Z_5 = (4,6 \cdot 0,1)2 + 1,4 \cdot 0,12 = 0,5(c2)$$

11) Графики



12) Окончательные результаты

Задание 1.

$$a \pm \Delta a = 0,094 \pm 0,004 \text{ м с}^2; \quad \alpha = 0,90$$

$$\epsilon = 4\%$$

Задание 2.

$$(g \pm \Delta g) = 9,4 \pm 0,5 \text{ м с}^2; \quad \alpha = 0,90$$

$$g = 6\%$$

$$\mu = (0,00313 \pm 0,000031)$$

Вывод:

На построенных графиках заметно, что точки экспериментальных зависимостей находятся очень близко к графикам линейных зависимостей, значит движение тележки было равноускоренным и при фиксированном угле наклона, и при изменяемом угле наклона.

Вычисленное значение ускорения свободного падения отличается от табличного для Санкт-Петербурга на величину, меньшую абсолютной погрешности g , значит можно считать вычисления достоверными.

