

3) Объект исследования.

Тележка, скользящая по наклонной плоскости

4) Метод экспериментального исследования.

Статический

5) Рабочие формулы и исходные данные.

$$\Delta a = 2\sigma_a \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\% \quad , \quad \sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad ,$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}; \quad \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a Z_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}}, \quad \langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2} \quad ,$$

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

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

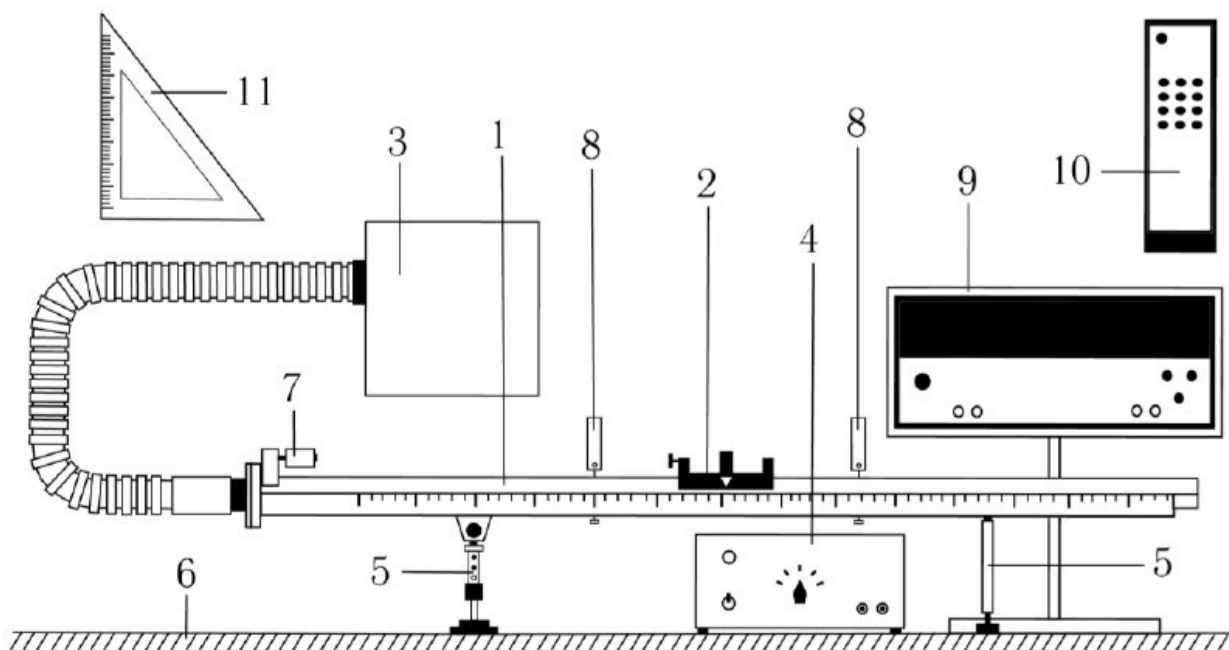
$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} \quad , \quad D = \sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2 \quad , \quad d_i = a_i - (A + B \sin \alpha_i) \quad ,$$

$$\Delta g = 2\sigma_g$$

6) Измерительные приборы.

№	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_{и}$
1	Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	-	5 мм
2	Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/дел	-	0,5 мм
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0,1 с	-	0,1 с

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



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 (таблицы, примеры расчётов).

Таблица 2

$x, \text{ м}$	$x', \text{ м}$	$h_0, \text{ мм}$	$h', \text{ мм}$
0,22	1,0	210	208

Таблица 3

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины	
	x_1 , м	x_2 , м	t_1 , с	t_2 , с	$x_2 - x_1$, м	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$, с ²
1	0,15	0,4	1,1	2,3	0,25	2,04
2	0,15	0,5	1,1	2,7	0,35	3,04
3	0,15	0,7	1,6	3,6	0,55	5,2
4	0,15	0,9	1,5	3,9	0,75	6,48
5	0,15	1,1	1,3	4,5	0,95	9,28

Таблица 4

Нпл	h, мм	h', мм	№	t ₁ , с	t ₂ , с	\bar{t}_1 , с	\bar{t}_2 , с	K ₁ , с²	K ₂ , с²	Σ K ₁ , с²	Σ K ₂ , с²	sin α, рад
1	220	211	1	1,2	4,1	1,28	4,2	0,0064	0,01	0,008	0,02	0,0089
			2	1,3	4,2			0,0004	0			
			3	1,3	4,2			0,0004	0			
			4	1,3	4,2			0,0004	0			
			5	1,3	4,3			0,0004	0,01			
2	229	209	1	0,9	3	0,9	3,02	0	0,0004	0	0,008	0,0231
			2	0,9	3			0	0,0004			
			3	0,9	3			0	0,0004			
			4	0,9	3			0	0,0004			
			5	0,9	3,1			0	0,0064			
3	237	208	1	0,7	2,5	0,76	2,5	0,0036	0	0,0264	0	0,0346
			2	0,7	2,5			0,0036	0			
			3	0,8	2,5			0,0064	0			
			4	0,8	2,5			0,0064	0			
			5	0,8	2,5			0,0064	0			
4	245	209	1	0,7	2,2	0,66	2,14	0,0036	0,0036	0,0236	0,014	0,0436
			2	0,6	2,1			0,0064	0,0016			
			3	0,7	2,2			0,0036	0,0036			
			4	0,7	2,2			0,0036	0,0036			
			5	0,6	2,1			0,0064	0,0016			
5	255	209	1	0,6	2,0	0,6	1,98	0	0,0004	0	0,026	0,0564
			2	0,6	1,9			0	0,0064			
			3	0,6	1,9			0	0,0064			
			4	0,6	1,9			0	0,0064			
			5	0,6	1,9			0	0,0064			

Нпл – количество пластин
h – высота в координате x = 0,22 м
h' – высота на координате x' = 1,00 м

9) Расчёт результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчётов).

i	$Z_i Y_i, \text{ м} \cdot \text{с}^2$	$Z_i^2, \text{ с}^4$	$(Y_i - a Z_i)^2, \text{ м}^2$
1	0,51	4,1616	9,50E-04
2	1,064	9,2416	5,467E-04
3	2,86	27,04	7,548E-05
4	4,86	41,9904	2,893E-03
5	8,816	86,1184	2,213E-03

$$\sum_{i=1}^N Z_i Y_i = 18,11 \text{ м} \cdot \text{с}^2$$

$$\sum_{i=1}^N Z_i^2 = 168,552 \text{ с}^4$$

$$a = \frac{18,11}{168,552} = 0,10744 \text{ м} \cdot \text{с}^2$$

$$L = \langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2$$

$$M = (\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2$$

$$\frac{(\Delta x_{и2})^2 + (\Delta x_{и1})^2}{(x_2 - x_1)^2} = \frac{(0,005)^2 + (0,005)^2}{(1 - 0,22)^2} = 0,000082183$$

i	L	M	$\langle a \rangle$	$4M/L^2$	Δa
1	16,00	0,2271	0,031	0,0035	0,0019
2	8,31	0,0723	0,084	0,0042	0,0055
3	5,67	0,0362	0,194	0,0045	0,0131
4	4,14	0,0510	0,362	0,0119	0,0396
5	3,56	0,0584	0,534	0,0184	0,0727

Таблица 5

$N_{пл}$	$\sin \alpha$, рад	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1$, с	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2$, с	$\langle a \rangle \pm \Delta a$, м/с
1	0,0089	$1,28 \pm 0,09$	$4,20 \pm 0,11$	$0,031 \pm 0,002$
2	0,0231	$0,90 \pm 0,07$	$3,02 \pm 0,09$	$0,084 \pm 0,006$
3	0,0346	$0,76 \pm 0,12$	$2,50 \pm 0,07$	$0,194 \pm 0,013$
4	0,0449	$0,66 \pm 0,12$	$2,14 \pm 0,10$	$0,362 \pm 0,040$
5	0,0564	$0,60 \pm 0,07$	$1,98 \pm 0,12$	$0,534 \pm 0,073$

$$\langle \sin \alpha \rangle = \frac{0,0089 + 0,0231 + 0,0346 + 0,0449 + 0,0564}{5} = 0,0336$$

$$\langle a \rangle = \frac{0,031 + 0,084 + 0,194 + 0,362 + 0,534}{5} = 0,241$$

$$Q = \sin \alpha_i - \langle \sin \alpha \rangle$$

$$P = a_i - \langle a \rangle$$

<i>i</i>	<i>QP</i>	<i>Q²</i>	<i>d_i</i>
1	0,00519	0,00061	0,0572
2	0,00165	0,00011	0,084
3	-0,00005	0,000001	0,2369
4	0,00137	0,000128	0,362
5	0,00668	0,0005198	0,534

$$\sum_{i=1}^N Q_i P_i = 0,01482$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i^2 = D = 0,00137$$

$$\sum_{i=1}^N d_i^2 = 0,01065 \quad B = 10,838 \quad A = -0,12317$$

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

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2 = 0,006678 \text{ м}^2$$

$$\sigma_{\langle a \rangle} = \sqrt{\frac{0,006678}{4 \cdot 168,552}} = 0,0099 \text{ м} \cdot \text{с}^2$$

$$\Delta_a = 2,78 \cdot 0,0099 = 0,027522 \text{ м} \cdot \text{с}^2 \quad \varepsilon_a = \frac{0,027522}{0,10744} \cdot 100\% = 18\%$$

<i>i</i>	<i>S_{t1}</i>	<i>S_{t2}</i>	<i>Δ_{t1}</i>	<i>Δ_{t2}</i>	<i>Δ_{t1}</i>	<i>Δ_{t2}</i>	<i>ε_{t1}</i>	<i>ε_{t2}</i>
1	0,02	0	0,0556	0	0,08681	0,0667	4,34%	0%
2	0	0,02	0	0,0556	0,0667	0,08681	0%	4,34%
3	0,024	0	0,0681	0	0,0953	0,0667	5,32%	0%
4	0,0245	0,024	0,0681	0,0681	0,0953	0,0953	5,32%	5,32%
5	0	0,02	0	0,0556	0,0667	0,08681	0%	4,34%

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{0,01065}{3 \cdot 0,00137}} = 1,6097$$

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

12. Окончательные результаты.

$$a = (0,107 \pm 0,028) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varepsilon_a = 18\%; \quad \alpha = 0,95.$$

$$g = (10,84 \pm 3,22) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \varepsilon_g = 29,70\%; \quad \alpha = 0,95.$$

$$\Delta g_{\text{откл}} = |g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = |10,838 - 9,81908| = 1,019$$

$$\varepsilon_{g_{\text{откл}}} = 9,4\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

1) В рассматриваемом случае движение тележки можно считать равноускоренным – на это указывают вычисленные значения абсолютной и относительной погрешностей ускорения, а также линейный характер полученного графика.

2) Так как $1,019 < 3,219 \Rightarrow \Delta g_{\text{откл}} < \Delta B$, следовательно полученная величина ускорения свободного падения g является достоверной.

Приложение 2.

