

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	линейка	угольник	$[0,0100;0,2500]$ м	0,0005 м
2	измерительный прибор ПКЦ-3 в режиме секундомера	цифровой	$[0,1;100,0]$ с	0,1 с
3	линейка на рельсе		$[0,100;1,300]$ м	0,005 м

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

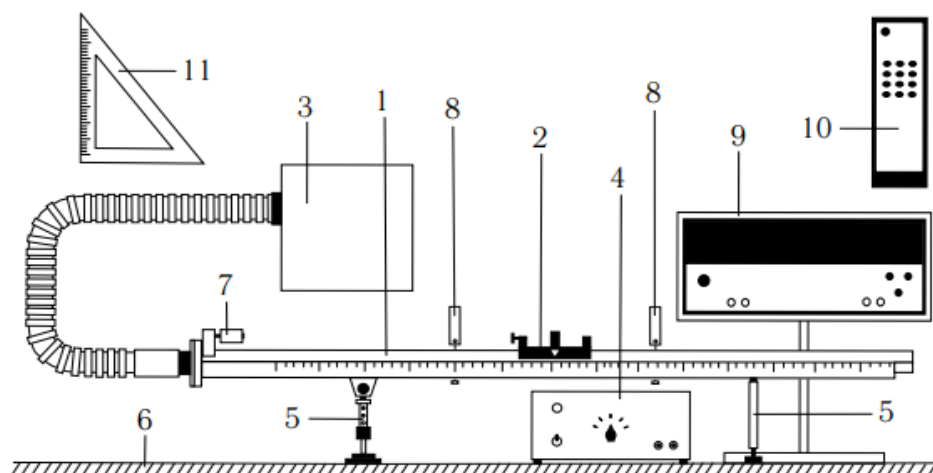


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

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 расчетов).

№	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	0,40	2,3	3,6	$0,25 \pm 0,005$	$3,8 \pm 0,3$
2	0,15	0,50	1,4	3,8	$0,35 \pm 0,005$	$6,2 \pm 0,3$
3	0,15	0,70	0,5	4,8	$0,55 \pm 0,005$	$11,3 \pm 0,3$
4	0,15	0,90	1,0	4,6	$0,75 \pm 0,005$	$10,0 \pm 0,3$
5	0,15	1,10	0,8	7,5	$0,95 \pm 0,005$	$27,8 \pm 0,5$

Таблица 1: Результаты прямых измерений (Задание 1)

$x, \text{м}$	$x', \text{м}$	$h_0, \text{мм}$	$h_0', \text{мм}$
0,22	1,00	205	210

Таблица 2: Результаты прямых измерений

№пл	$h, \text{мм}$	$h', \text{мм}$	№	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$
1	225	210	1	1,4	4,3
			2	1,5	4,4
			3	1,5	4,4
			4	1,6	4,5
			5	1,5	4,4
2	235	210	1	1,4	3,3
			2	1,3	3,1
			3	1,2	3,0

3	245	210	4	1,3	3,1
			5	1,3	3,1
			1	1,0	2,5
			2	1,2	2,4
			3	1,0	2,6
			4	1,0	2,5
4	255	210	5	0,8	2,5
			1	0,9	2,2
			2	0,8	2,2
			3	1,0	2,4
			4	0,9	2,2
			5	0,9	2,0
5	265	210	1	0,7	1,8
			2	0,9	2,0
			3	0,7	1,9
			4	0,8	1,9
			5	0,9	1,9
Nпл – количество пластин h – высота на координате x = 0,22 м h' – высота на координате x' = 1,00 м					

Таблица 3: Результаты прямых измерений (Задание 2)

Нпл	sina	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, c$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, c$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, M/c^2$
1	0,03	$1,5 \pm 0,1$	$4,4 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,2 \cdot 10^{-2}$
2	0,04	$1,3 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$
3	0,05	$1,0 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$
4	0,06	$0,9 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,9 \cdot 10^{-2}$
5	0,08	$0,8 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$
Нпл – количество пластин $\langle t_{1,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{1,i,2,i}$				

Таблица 4: Результаты расчётов

9. Расчет результатов косвенных измерений (*таблицы, примеры расчетов*).
 Проверка равноускоренности движения:

$$x_2 - x_1 = a \frac{1}{2} (t_2^2 - t_1^2), \text{ то есть } Y = aZ, \text{ где } Y = x_2 - x_1, Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}$$

$$\text{Коэффициент } a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = \frac{0,96+2,18+6,27+7,56+26,41}{14,71+38,94+129,85+101,61+773,12} \approx 0,04 M/c^2$$

$$\text{Среднеквадратичное отклонение } \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \cdot \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = 0,006 M/c^2$$

$$\text{Коэффициент } B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N \langle a_i \rangle \sin a_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \langle a_i \rangle \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \cdot (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2} = \frac{0,11 - 0,2 \cdot 1,82 \cdot 0,256}{0,015 - 0,2 \cdot 0,066} = 9,3 M/c^2$$

$$\text{Коэффициент } A \equiv -\mu * g = \frac{1}{N} * (\sum_{i=1}^N \langle a_i \rangle) - B \sum_{i=1}^N \sin a_i = 0,2 * (1,82 - 9,3 * 0,256) = -0,11 M/c^2$$

$$\text{Коэффициент } d_i = \langle a_i \rangle - (A + B * \sin a_i)$$

$$\text{Расчет } d_i \text{ при } i = 5: d_5 = 0,64 - (-0,11 + 9,3 * 0,08) = 0,006 M/c^2$$

$$\text{Коэффициент } D = \sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} * (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2 = 0,015 - 0,2 * 0,066 = 0,0018$$

$$\text{Среднеквадратичное отклонение } \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = \sqrt{\frac{0,86 \cdot 10^{-3}}{0,0018 \cdot 3}} = 0,4 M/c^2$$

$$\text{Абсолютное отклонение: } |g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = |9,3 - 9,82| = 0,5 M/c^2$$

Относительное отклонение: $\frac{|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} * 100\% = \frac{0,5}{9,82} * 100\% = 5\%$

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

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \frac{2}{3} * \Delta_{\text{их}} = \frac{2}{3} * 0,005 \approx 0,33 * 10^{-2} \text{ м}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \frac{2}{3} * \Delta_{\text{ит}} = \frac{2}{3} * 0,1 \approx 0,07 \text{ с}$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x_1} * \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_2} * \Delta x_2\right)^2}$$

Расчет ΔY для $i = 1$: $\Delta Y = \sqrt{(-1 * 0,0033)^2 + (1 * 0,0033)^2} = 0,005 \text{ м}$

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial t_1} * \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial t_2} * \Delta t_2\right)^2}$$

Расчет ΔY для $i = 1$: $\Delta Z = \sqrt{(-1,5 * 0,07)^2 + (4,4 * 0,07)^2} = 0,3 \text{ с}^2$

Абсолютная погрешность $\Delta a = 2\sigma_a = 2 * 0,006 = 0,12 * 10^{-1} \text{ м/с}^2$

Относительная погрешность $\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} * 100\% = \frac{0,12 * 10^{-1}}{0,04} * 100\% = 30\%$

Абсолютная погрешность $\Delta g = 2\sigma_g = 2 * 0,4 = 0,8 \text{ м/с}^2$

Относительная погрешность $\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} * 100\% = \frac{0,8}{9,3} * 100\% = 8,6\%$

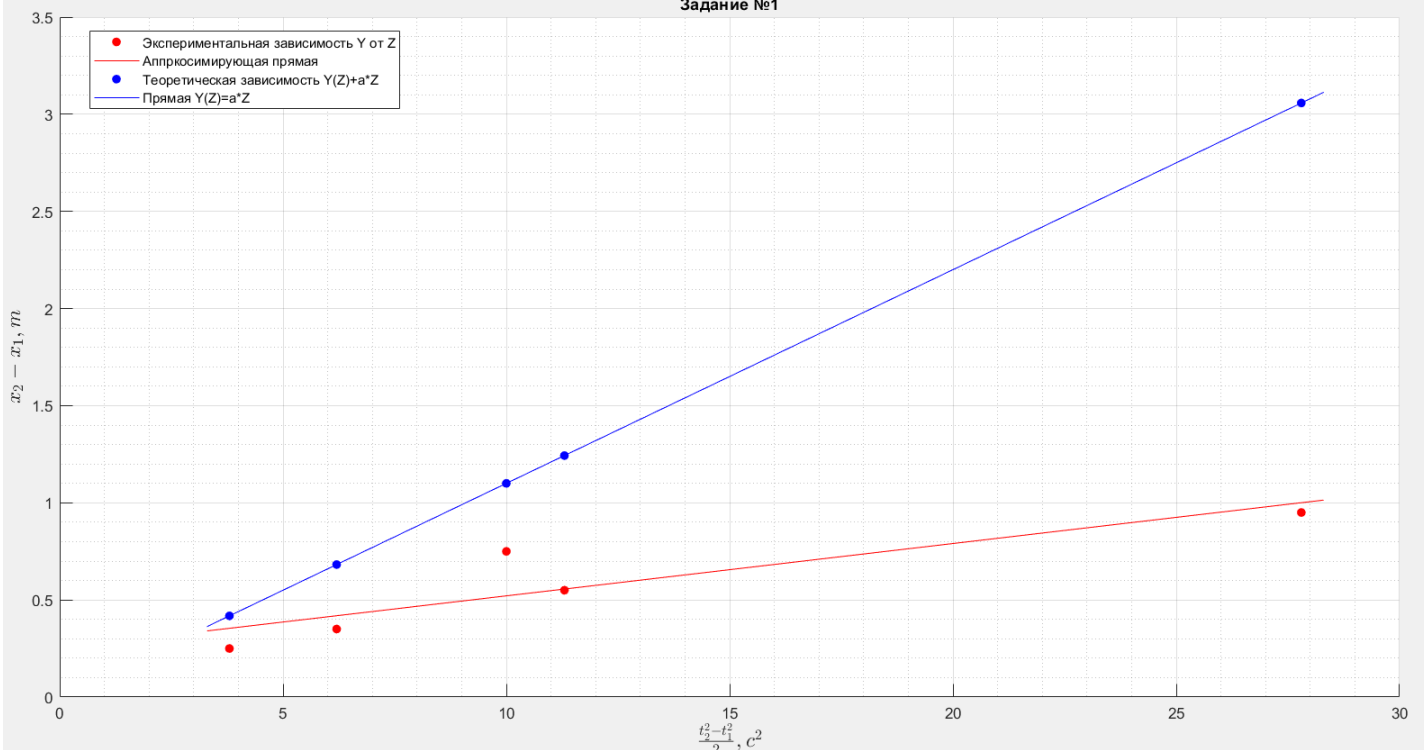
$$\Delta a = \langle a \rangle * \sqrt{\frac{(\Delta_{\text{их}_1})^2 + (\Delta_{\text{их}_2})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 * \frac{(\langle t_{1i} \rangle * \Delta t_1)^2 + (\langle t_{2i} \rangle * \Delta t_2)^2}{((t_{2i})^2 - (t_{1i})^2)^2}}$$

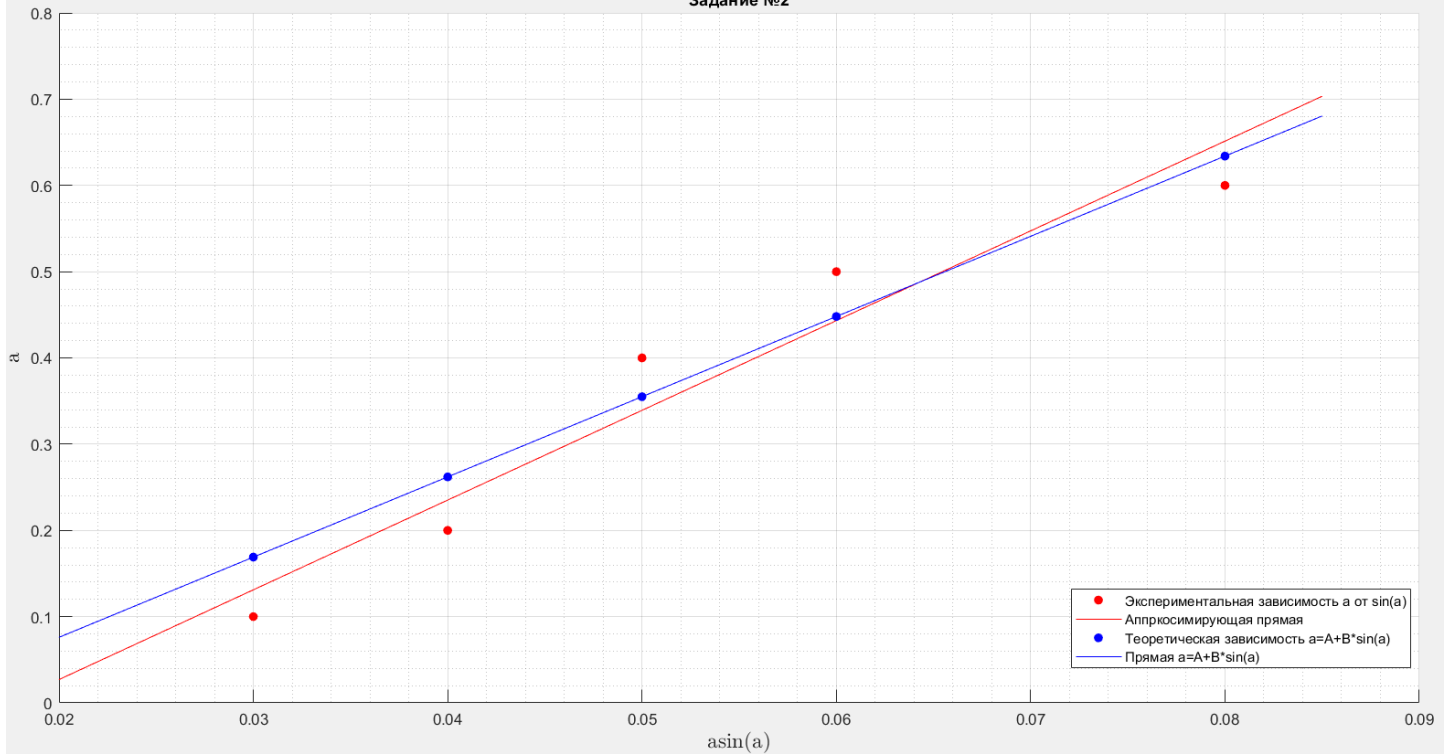
Расчет Δa для $i = 1$:

$$\Delta a = 0,1 * \sqrt{\frac{(0,005)^2 + (0,005)^2}{(1,1 - 0,15)^2} + 4 * \frac{(1,5 * 0,1)^2 + (4,4 * 0,1)^2}{(4,4^2 - 1,5^2)^2}} = 0,2 * 10^{-2} \text{ м/с}^2$$

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

Задание №1





12. Окончательные результаты.

Коэффициент $a = 0,04 \pm 0,12 \cdot 10^{-1} \text{ М/с}^2$

Относительная погрешность $\varepsilon_a = 30\%$

Коэффициент $g = 9,3 \pm 0,8 \text{ М/с}^2$

Относительная погрешность $\varepsilon_g = 8,6\%$

Абсолютное отклонение: $|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = 0,5 \text{ М/с}^2$

Относительное отклонение: $\frac{|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 5\%$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В первом задании движение тележки является равноускоренным, так как значения начальных точек совпадают со значениями точек, полученных на основании теоретической зависимости. Однако, из-за довольно большой погрешности, вызванной неисправностью прибора, последующие значения точек довольно сильно расходятся. Во втором задании вычисленное значение ускорения свободного падения является довольно точным и не сильно различается со значением данной величины по Санкт-Петербургу. Значения на графике также подтверждают точность проведенных измерений и расчетов.

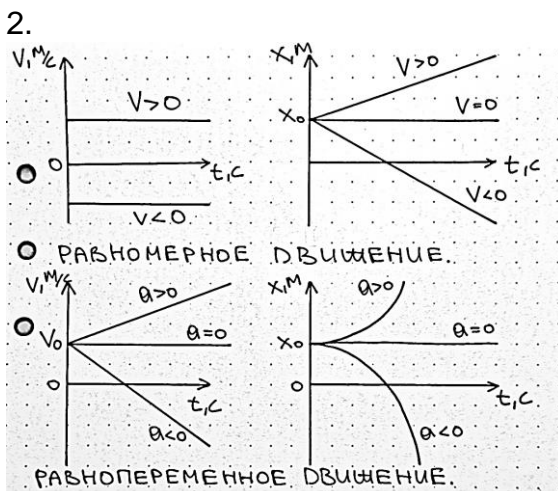
14. Дополнительные задания.

Контрольные вопросы

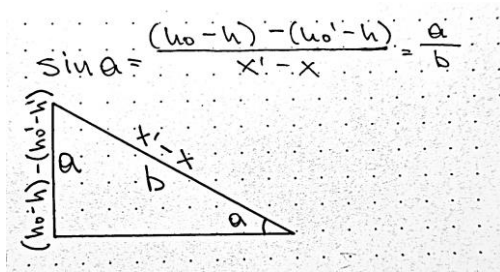
1. Дайте определения пути, перемещения, траектории. Каковы принципиальные различия этих понятий?
2. Изобразите графики зависимостей координаты $x(t)$ и проекции скорости $V_x(t)$ для случаев равномерного и равнопеременного прямолинейного движения.
3. В любой момент времени мгновенное и среднее значение скорости равны друг другу. Что в этом случае можно сказать о величине ускорения?
4. В первом случае некоторому телу придали начальную скорость параллельно шероховатой наклонной плоскости в направлении вверх, а во втором случае – вниз. В каком случае модуль ускорения тела будет больше и почему?
5. Изобразите качественный рисунок (чертеж) иллюстрирующий получение формулы (11) данных методических указаний.
6. Как зависит величина силы трения скольжения, действующая на тело находящееся на наклонной плоскости, от угла ее наклона при прочих равных условиях? Изобразите график соответствующей зависимости.
7. Как зависит ускорение свободного падения от географической широты?

15. Выполнение дополнительных заданий.

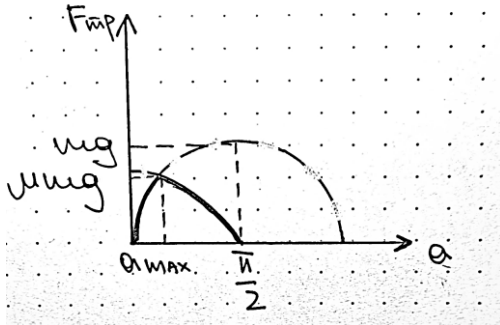
1. Траектория – линия, вдоль которой движется материальная точка.
Перемещение – вектор, проведенный из начальной точки движения в конечную.
Путь – длина траектории.
Путь в отличие от перемещения не может быть нулевым.



3. В случае, когда мгновенное и среднее значения скорости равны ускорение будет равно 0.
4. В первом случае ускорение и g будут противоположно направлены, поэтому модуль ускорения будет уменьшаться. Во втором же случае ускорение и g сонаправлены, поэтому модуль ускорения будет увеличиваться. Значит во втором случае модуль ускорения больше.
- 5.



6.



$$F_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \text{ и } N = m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$$

Из этого следует, что пока тело покоится на наклонной плоскости, сила трения пропорциональна $\sin(\alpha)$. При увеличении угла наклона плоскости $m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ будет увеличиваться, а максимальная сила трения наоборот будет убывать. Поэтому при определенном угле наклона сдвигающая сила превзойдет значение максимальной силы трения покоя и тело начнет скользить по плоскости

7. Так как Земля по форме - эллипсоид, полярный радиус несколько меньше, чем экваториальный. Ускорение свободного падения на полюсе будет больше, а на экваторе - меньше. В общем случае ускорение свободного падения зависит от широты местности и высоты поднятого тела над поверхностью. Необходимо также учесть факт вращательного движения Земли, которое тоже будет влиять на ускорение свободного падения.