

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНО ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
ITMO University**

**Лабораторная работа №2 по теме «Движение по наклонной
плоскости»**

По дисциплине
Физика

Выполнили:
Стафеев И.А. (К3121)
Голованов Д. И. (К3123)
Данилов Н. О. (К3121)

Поток: ОФ-1 ИКТ 1.2.1

Проверила
Рудель А. Е.

Санкт-Петербург,
2024

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение	3
1.1	Цели работы	3
1.2	Задачи	3
1.3	Объект исследования	3
1.4	Метод экспериментального исследования	3
1.5	Рабочие формулы и исходные данные	3
1.6	Измерительные приборы	6
1.7	Схема установки	6
2	Задание 1	8
3	Задание 2	9
4	Результаты	11
4.1	Окончательные результаты	11
4.2	Графики.....	11
5	Выводы и анализ результатов работы	13
6	Ответы на контрольные вопросы	14

1 Введение

1.1 Цели работы

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

1.2 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.

1.3 Объект исследования

Ускорение тележки при различных углах наклона

1.4 Метод экспериментального исследования

Измерение времени, затраченного тележкой на прохождение заданного расстояния по наклонной плоскости при различных углах наклона

1.5 Рабочие формулы и исходные данные

1. Перемещение

$$Y = x_2 - x_1 \tag{1}$$

2. Полуразность квадратов времени

$$Z = \frac{t_2^2 - t_1^2}{2} \quad (2)$$

3. Линейная зависимость Y от Z

$$Y = aZ \quad (3)$$

4. Коэффициент линейной зависимости Y от Z

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} \quad (4)$$

5. Среднеквадратичное отклонение зависимости Y от Z

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \quad (5)$$

6. Абсолютная погрешность коэффициента a для доверительной вероятности $\alpha = 0.90$

$$\Delta_a = 2\sigma_a \quad (6)$$

7. Синус угла наклона рельса к горизонту

$$\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x} \quad (7)$$

8. Среднее значение измерения

$$\langle t \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (8)$$

9. Значение ускорения для серии измерений

$$\langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2} \quad (9)$$

10. Погрешность ускорения для серии измерений

$$\Delta a = \langle a \rangle \sqrt{\frac{(\Delta x_{и2})^2 + (\Delta x_{и1})^2}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}} \quad (10)$$

11. Зависимость a от $\sin\alpha$

$$a = A + B\sin\alpha \quad (11)$$

12. Коэффициент B в линейной зависимости a от $\sin\alpha$

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin\alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin\alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2\alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin\alpha_i)^2} \quad (12)$$

13. Коэффициент A в линейной зависимости a от $\sin\alpha$

$$A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin\alpha_i \right) \quad (13)$$

14. СКО для ускорения свободного падения

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - (A + B\sin\alpha_i))^2}{(\sum_{i=1}^N \sin^2\alpha_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin\alpha_i)^2)(N - 2)}} \quad (14)$$

15. Абсолютная погрешность ускорения свободного падения

$$\Delta_g = 2\sigma_g \quad (15)$$

16. Случайная погрешность многократных измерений

$$\Delta_{\bar{t}} = t_{\alpha, N} \sigma_t \quad (16)$$

17. Абсолютная погрешность многократных измерений

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta_{\bar{t}}^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta_{t_{\text{н}}}\right)^2} \quad (17)$$

Исходные данные: $N = 5$, $\alpha = 0.90$, $g_{\text{табл}} = 9,8195$

1.6 Измерительные приборы

Таблица 1 — Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Предел измерения	Цена деления	Погрешность прибора $\Delta_{ит}$
1	Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	5 мм
2	Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/дел	0.05 мм
3	ПКЦ-3 в режиме се- кундомера	100 с	0.1 с	0.1 с

1.7 Схема установки

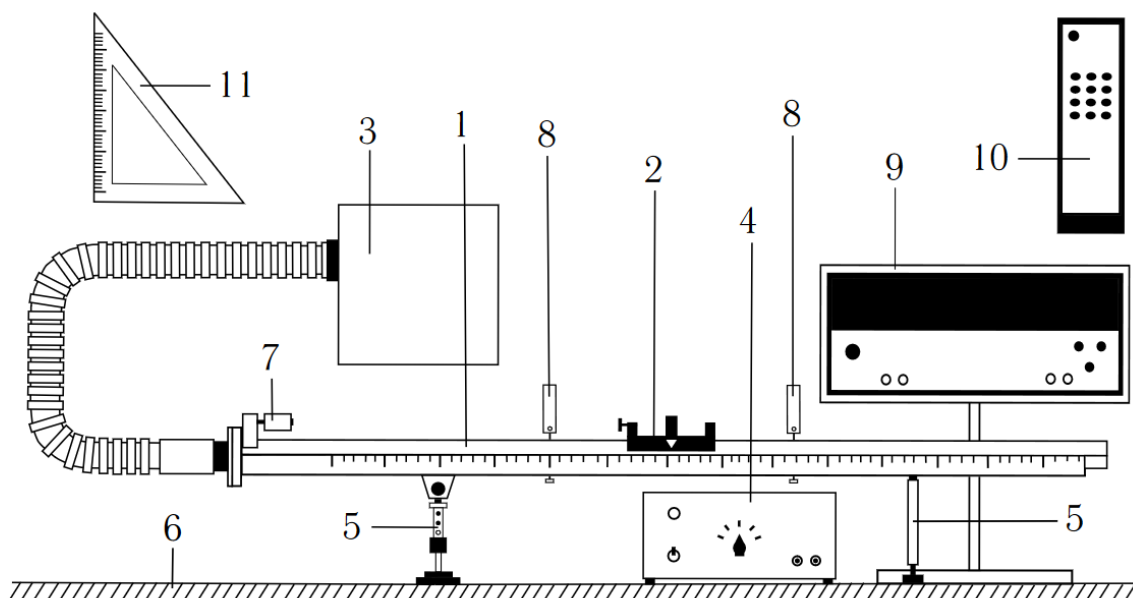


Рисунок 1 — Схема установки для проведения измерений

Числами на схеме обозначены:

1. Рельс с сантиметровой шкалой, по которому движется тележка;

2. Тележка с флажком с черными вертикальными рисками;
3. Воздушный насос, уменьшающий трение между тележкой и рельсом;
4. Источник питания насоса ВС 4-12;
5. Опоры рельса, регулирующие высоты рельса;
6. Опорная плоскость;
7. Электромагнит, фиксирующий тележку в начальном положении;
8. Оптические ворота;
9. Цифровой измерительный прибор ПКЦ-3, фиксирующий момент времени, скорость и ускорение тележки при прохождении оптических ворот;
10. Пульт дистанционного управления прибором ПКЦ-3;
11. Линейка-угольник для измерения вертикальной координаты положения тележки.

2 Задание 1

Таблица 2 — Константы для задания №1

x , м	x' , м	h_0 , мм	h'_0 , мм
0.220 ± 0.005	1.000 ± 0.005	193.0 ± 0.5	195.0 ± 0.5

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\Delta x_{\text{н1}}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta x_{\text{н1}}\right)^2} \approx 0.005 \text{ с}$$

$$\Delta Z = \sqrt{(2t_1 \cdot \frac{2}{3}\Delta_t)^2 + (2t_2 \cdot \frac{2}{3}\Delta_t)^2}$$

Таблица 3 — Измерения для задания №1

№	Измеренные величины				Рассчитанные величины			
	x_1 , м	x_2 , м	t_1 , с	t_2 , с	Y , м	ε_Y , %	Z , с	ε_Z , %
1	0.150	0.400	1.5	3.0	0.250 ± 0.005	2.00	3.4 ± 0.4	12
2	0.150	0.500	1.6	3.3	0.350 ± 0.005	1.43	4.2 ± 0.5	12
3	0.150	0.700	1.7	4.5	0.550 ± 0.005	0.91	8.7 ± 0.6	7
4	0.150	0.900	1.7	4.8	0.750 ± 0.005	0.67	10.1 ± 0.7	7
5	0.150	1.100	1.6	5.2	0.950 ± 0.005	0.53	12.2 ± 0.7	6

По формуле 4 $a = 0.074 \text{ м/с}^2$

По формулам 5 и 6 $\sigma_a = 0.003 \text{ м/с}^2$ и $\Delta_a = 0.006 \text{ м/с}^2$. $\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 8\%$

3 Задание 2

Таблица 4 — Измерения для задания №2

$N_{\text{пл}}$	h , мм	h' , мм	$N_{\text{изм}}$	t_1 , с	t_2 , с
1	202	196	1	2.2	6.2
			2	1.8	5.5
			3	1.9	6.0
			4	2.1	6.1
			5	1.9	6.0
2	212	196	1	1.3	3.8
			2	2.3	4.8
			3	1.0	3.4
			4	1.2	3.6
			5	1.0	3.4
3	221	197	1	1.4	3.3
			2	0.9	2.8
			3	1.0	2.9
			4	1.0	2.9
			5	0.9	2.8
4	229.5	197	1	1.9	3.5
			2	1.0	2.7
			3	0.7	2.3
			4	1.1	2.7
			5	0.7	2.4
5	239	197	1	2.4	3.9
			2	1.7	3.2
			3	0.8	2.2
			4	0.7	2.2
			5	0.8	2.3

Таблица 5 — Результаты расчетов для задания 2

N	$\sin\alpha$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta_{t_1}, \text{ с}$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta_{t_2}, \text{ с}$	$a \pm \Delta_a, \text{ м/с}^2$
1	0.010	2.0 ± 0.2	6.0 ± 0.3	0.06 ± 0.04
2	0.023	1.4 ± 0.7	3.8 ± 0.7	0.15 ± 0.24
3	0.033	1.0 ± 0.3	2.9 ± 0.3	0.25 ± 0.17
4	0.044	1.1 ± 0.6	2.7 ± 0.6	0.30 ± 0.43
5	0.056	1.3 ± 0.9	2.8 ± 1.0	0.32 ± 0.78

По формуле 12 $B \equiv g = 5.88$

По формуле 13 $A = 0.02$

По формуле 14 $\sigma_g = 0.94$

$$\Delta_g = 2\sigma_g = 1.88; \varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% = 32\%$$

Сравнение с табличным значением ускорения свободного падения:

$$|g_{\text{табл}} - g| = |3.9195| \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g_{\text{табл}} - g|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% = 40\%$$

4 Результаты

4.1 Окончательные результаты

$$a = (0.074 \pm 0.006) \text{ м/с}^2; \varepsilon_a = 8\%; \alpha = 0.90$$

$$g = (5.88 \pm 1.88) \text{ м/с}^2; \varepsilon_g = 32\%; \alpha = 0.90$$

$$|g_{\text{табл}} - g| = |3.9195| \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = 40\%$$

4.2 Графики

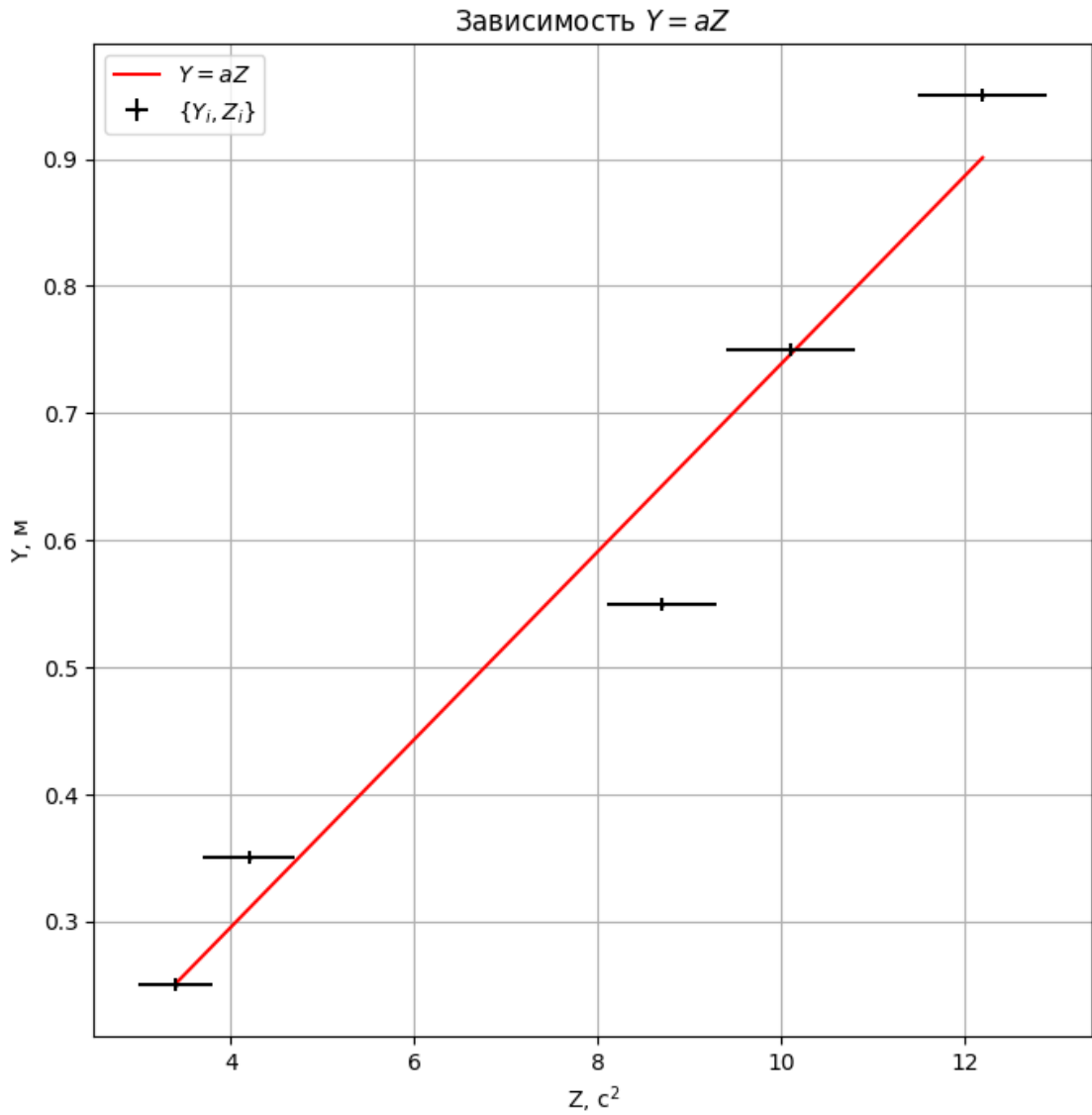


Рисунок 2 — График зависимости Y от Z

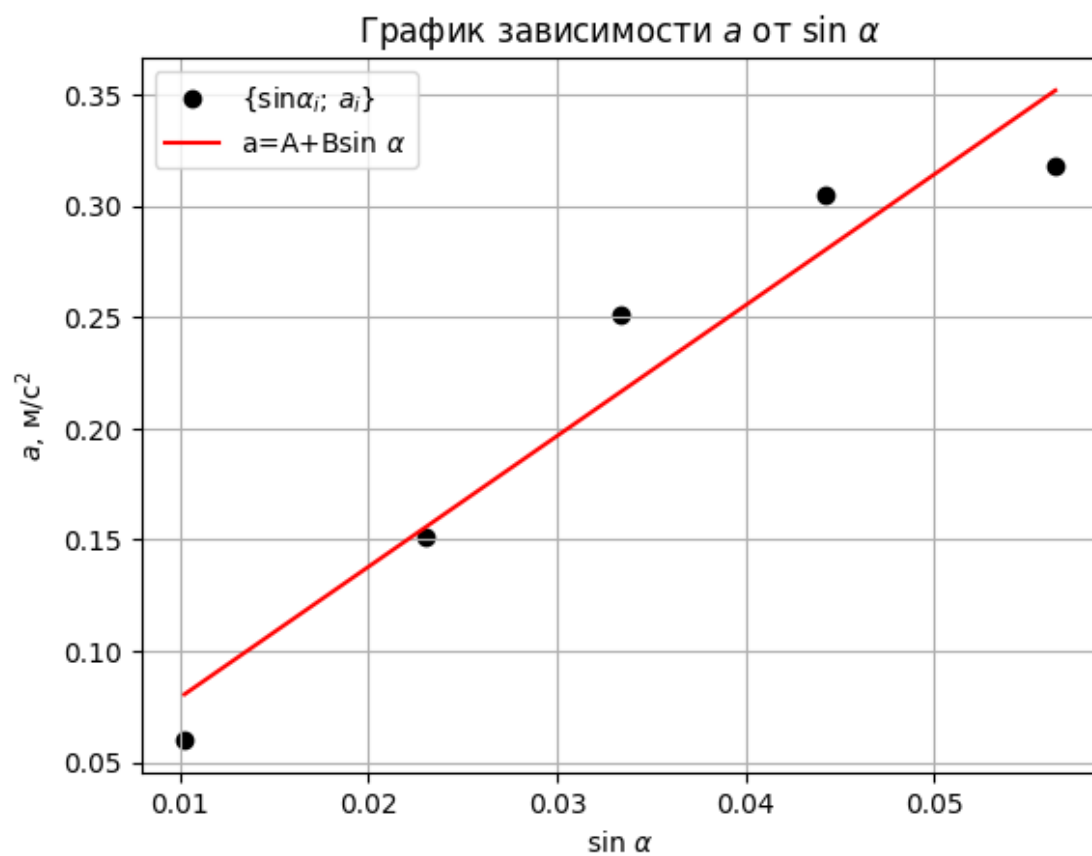


Рисунок 3 — График зависимости a от $\sin \alpha$

5 Выводы и анализ результатов работы

1. Опираясь на график зависимости Z от Y , можно сказать, что движение тележки в 1-м опыте является равноускоренным, так как график близок к построенной прямой. Погрешность измерений оказалась сравнительно небольшой, что подтверждает корректность проведенных расчетов.

2. Абсолютное отклонение экспериментального значения ускорения свободного падения от табличного оказалось в 2 раза больше абсолютной погрешности Δ_g , что говорит о недостоверности проведенных расчетов. Такой результат мог возникнуть как из-за неисправностей установки, так и из-за человеческого фактора.

6 Ответы на контрольные вопросы

1. Дайте определения пути, перемещения, траектории. Каковы принципиальные различия этих понятий?

Путь - это скалярная величина, равная длине всего пройденного телом пути. Перемещение - это векторная величина, равная разности между конечным и начальным положениями тела. Траектория - это линия, по которой движется тело в пространстве. Принципиальное различие между ними заключается в том, что путь и перемещение являются величинами, связанными с перемещением тела, в то время как траектория описывает геометрическую форму движения тела в пространстве.

2. Изобразите графики зависимостей координаты $x(t)$ и проекции скорости $v_x(t)$ для случаев равномерного и равнопеременного прямолинейного движения.

Графики зависимостей координаты $x(t)$ и проекции скорости $V_x(t)$ для случаев равномерного и равнопеременного прямолинейного движения могут быть представлены следующим образом:

- Для равномерного движения: $x(t) = x_0 + v_0 t$, $V_x(t) = v_0$
- Для равнопеременного движения: $x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$, $V_x(t) = v_0 + at$

В качестве начальных значений возьмем $x_0 = 0$, $v_0 = 5$ м/с, $a = 2$ м/с²ю
Графики приведены на рисунках 4 и 5.

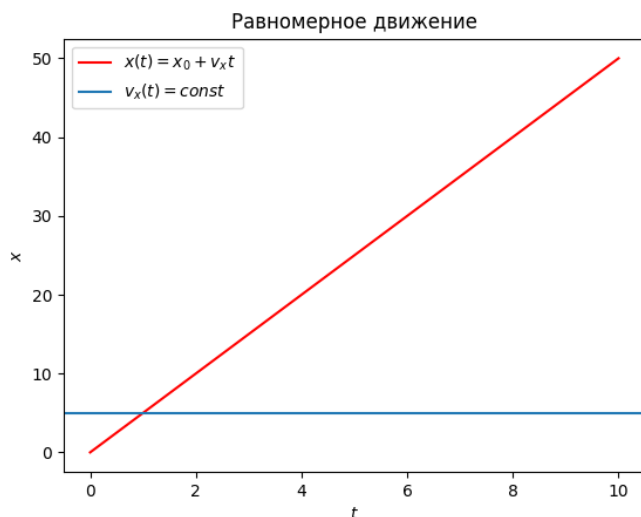


Рисунок 4 — График зависимости координаты и проекции скорости от времени для равномерного движения

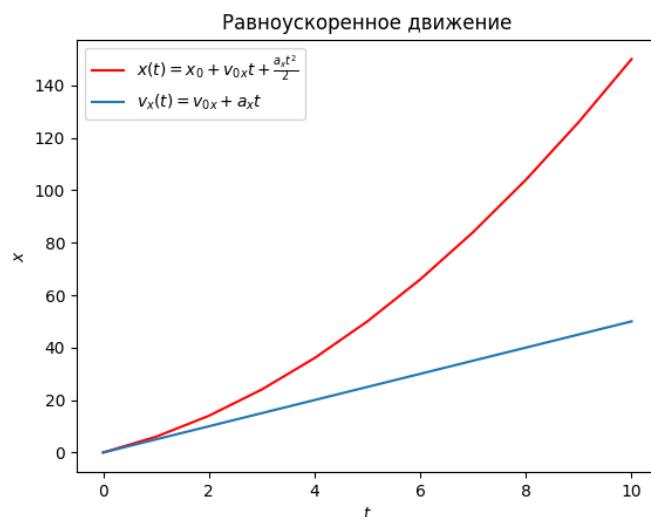


Рисунок 5 — График зависимости координаты и проекции скорости от времени для равнопеременного движения

3. В любой момент времени мгновенное и среднее значение скорости равны друг другу. Что в этом случае можно сказать о величине ускорения?

Это означает, что тело движется равномерно. В этом случае ускорение равно нулю.

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?

Если некоторому телу придали начальную скорость параллельно шероховатой наклонной плоскости в направлении вверх, то модуль ускорения тела будет больше, чем в случае начальной скорости вниз. Это связано с тем, что в случае движения вверх тело будет преодолевать силу трения скольжения, что потребует большего ускорения.

5. Изобразите качественный рисунок (чертеж) иллюстрирующий получение формулы $\sin \alpha = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x}$ данных методических указаний

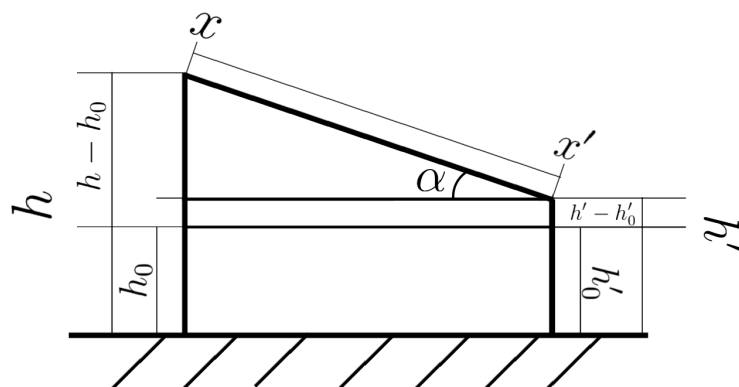


Рисунок 6 — Получение формулы синуса угла наклона рельса к горизонту

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.

Величина силы трения скольжения, действующей на тело на наклонной плоскости, зависит от угла ее наклона. Обычно с увеличением угла наклона сила трения также увеличивается. График данной зависимости (рис. 3) будет показывать эту тенденцию.

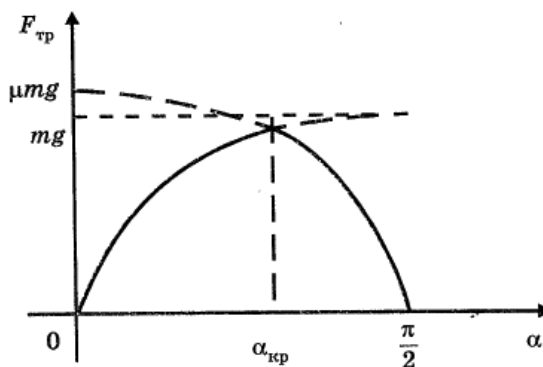


Рисунок 7

7. Как зависит ускорение свободного падения от географической широты?

Чем ближе к экватору, тем меньше ускорение свободного падения из-за вращения Земли.