
РАБОЧИЙ ПРОТОКОЛ И ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1.02

Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

Группа: N3151
Студент: Мочеков С.С.
Преподаватель: Эйхвальд Т.А.

К работе допущен:
Работа выполнена:
Отчет принят:

I. Цели работы

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

II. Задачи, решаемые при выполнении работы

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.

III. Объект исследования

Тележка, скользящая по наклонной плоскости.

IV. Метод экспериментального исследования

- Направляющий рельс устанавливается горизонтально, а затем под одну из его опор подкладывается одна стандартная пластина толщиной ≈ 1 см. Оптические ворота устанавливаются в точке с координатами x_i и для каждого их положения измеряется время, за которое тележка прошла расстояние до оптических ворот. Опыт делается $N = 5$ раз для различных координат оптических ворот.
- Направляющий рельс устанавливается горизонтально, оптические ворота фиксируются в точках с координатами x_1 и x_2 , которые не изменяются при проведении эксперимента. Под левую опору рельса подкладывается одна стандартная пластина и измеряется время прохождения тележкой первых и вторых оптических ворот. Измерения проводятся 5 раз, затем под левую опору подкладывается еще одна стандартная пластина и эксперимент снова повторяется 5 раз. Измерения выполняются для количества пластин от 1 до 5, по 5 раз для каждого положения.

V. Рабочие формулы и исходные данные

$$1. Y = x_1 - x_2 \quad Z = \frac{t_1^2 - t_2}{2} \quad Y = aZ$$

$$2. a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2}$$

$$3. \sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}}$$

$$4. \Delta_a = 2\sigma_a$$

$$5. \varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\%$$

$$6. \sin a = \frac{(h_0 - h) - (h'_0 - h')}{x' - x}$$

$$7. \langle a \rangle = \frac{2(x_2 - x_1)}{\langle t_2^2 \rangle - \langle t_1^2 \rangle}$$

$$8. \Delta a = \langle a \rangle \sqrt{\frac{(\langle x_2 \rangle^2 + \langle x_1 \rangle^2)}{(x_2 - x_1)^2} + 4 \frac{(\langle t_1 \rangle \Delta t_1)^2 + (\langle t_2 \rangle \Delta t_2)^2}{(\langle t_2 \rangle^2 - \langle t_1 \rangle^2)^2}}$$

$$9. a = A + B \sin a$$

$$10. B = g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin a_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sin a_i)^2}$$

$$11. A = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin a_i \right)$$

$$12. \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}}$$

$$13. d_i = a_i - (A + B \sin a_i)$$

$$14. D = \sum_{i=1}^N \sin^2 a_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sin a_i \right)^2$$

$$15. \Delta g = 2\sigma_g$$

$$16. \varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\%$$

VI. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Цена деления	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	1 см	1300 см	0.5 см
2	Линейка на угольнике	1 мм	250 мм	0.5 мм
3	ПКЦ-3 в режиме секундомера	0,1 с	100 с	0.1 с

VII. Схема установки

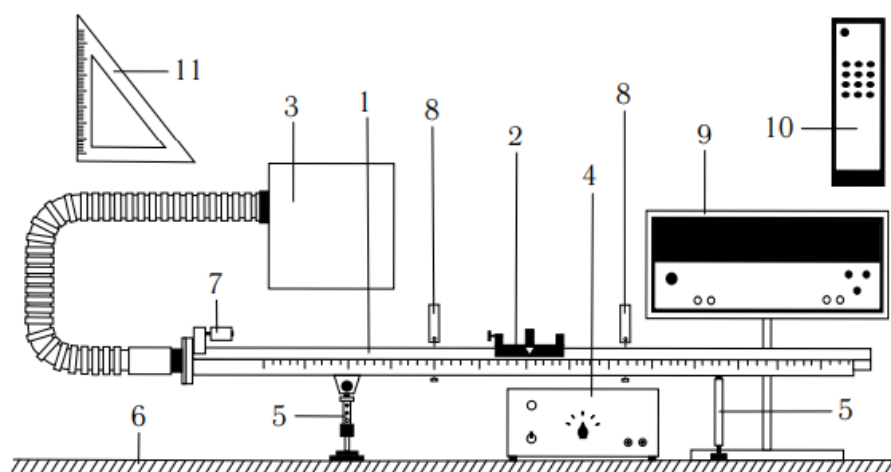


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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

VIII. Результаты измерений

$x, \text{мм}$	$x', \text{мм}$	$h_0, \text{мм}$	$h'_0, \text{мм}$
220	1000	215	210

№	Измеренные величины				Расчитанные величины	
	$x_1,$	$x_2,$	t_1, c	t_2, c	$x_2 - x_1, \text{м}$	$\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, c^2$
1	0,15	0,4	1,1	2,3	0,25	2,04
2	0,15	0,5	1,0	2,6	0,35	2,88
3	0,15	0,7	1,0	3,2	0,55	4,62
4	0,15	0,9	1,1	3,8	0,75	6,62
5	0,15	1,1	1,0	4,1	0,95	7,9

N_{III}	h , мм	h' , мм	№	t_1 , с	t_2 , с
1	215	210	1	1,1	4,2
			2	1,1	4,2
			3	1,2	4,2
			4	1,2	4,3
			5	1,1	4,2
2	225	210	1	0,8	2,9
			2	0,8	2,9
			3	0,8	3,0
			4	0,8	2,9
			5	0,8	3,0
3	235	210	1	0,7	2,5
			2	0,7	2,4
			3	0,7	2,4
			4	0,7	2,4
			5	0,7	2,4
4	245	210	1	0,6	2,1
			2	0,6	2,1
			3	0,6	2,1
			4	0,6	2,1
			5	0,6	2,1
5	255	210	1	0,5	1,9
			2	0,5	1,9
			3	0,5	1,9
			4	0,5	1,9
			5	0,5	1,9

№	$\sin a$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta t_1, c$	$\langle t_2 \rangle \pm \Delta t_2, c$	$\langle a \rangle \pm \Delta a, \frac{M}{c^2}$
1	0	$1,16 \pm 0,06$	$4,2 \pm 0,05$	$0,115 \pm 0,004$
2	0,013	$0,8 \pm 0,05$	$2,94 \pm 0,06$	$0,237 \pm 0,011$
3	0,026	$0,66 \pm 0,07$	$2,42 \pm 0,05$	$0,351 \pm 0,019$
4	0,038	$0,6 \pm 0,05$	$2,1 \pm 0,05$	$0,469 \pm 0,026$
5	0,051	$0,5 \pm 0,05$	$1,9 \pm 0,05$	$0,565 \pm 0,033$

IX. Расчет погрешностей измерений (прямые и косвенные измерения)

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} \approx 0,0016 \frac{\text{М}}{c^2}$$

$$\Delta_a = 2\sigma_a \approx 0,0032 \frac{\text{М}}{c^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% \approx 2,72\%$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} \approx 0,1979 \frac{\text{М}}{c^2}$$

$$\Delta_g = 2\sigma_g \approx 0,3957 \frac{\text{М}}{c^2}$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta_g}{g} \cdot 100\% \approx 4,48\%$$

$$\varepsilon_{g_{\text{табл}}} = \frac{|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}} \cdot 100\% \approx 11,12\%$$

Х. Графики

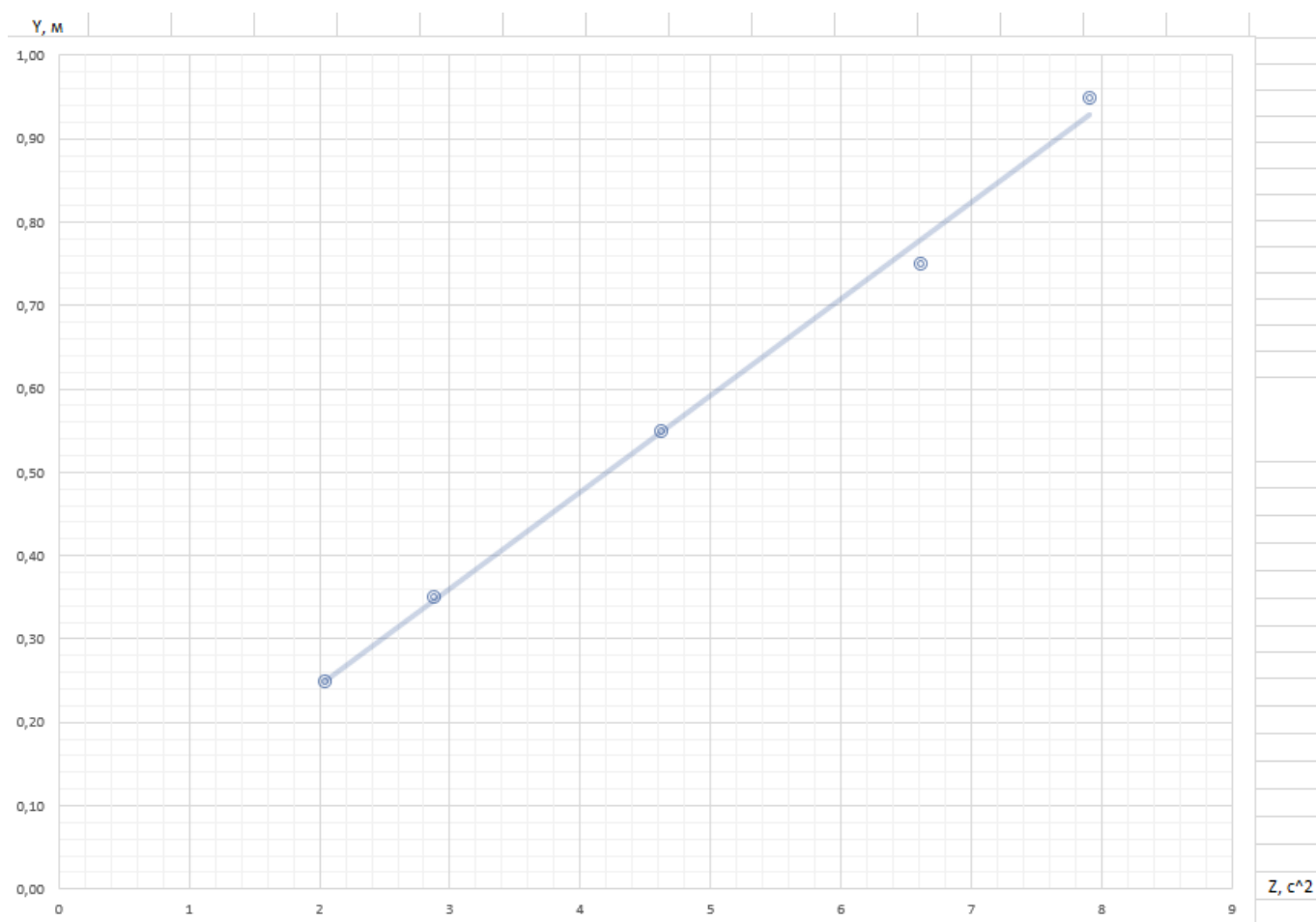


Рис. 1: Зависимость $Y = aZ$

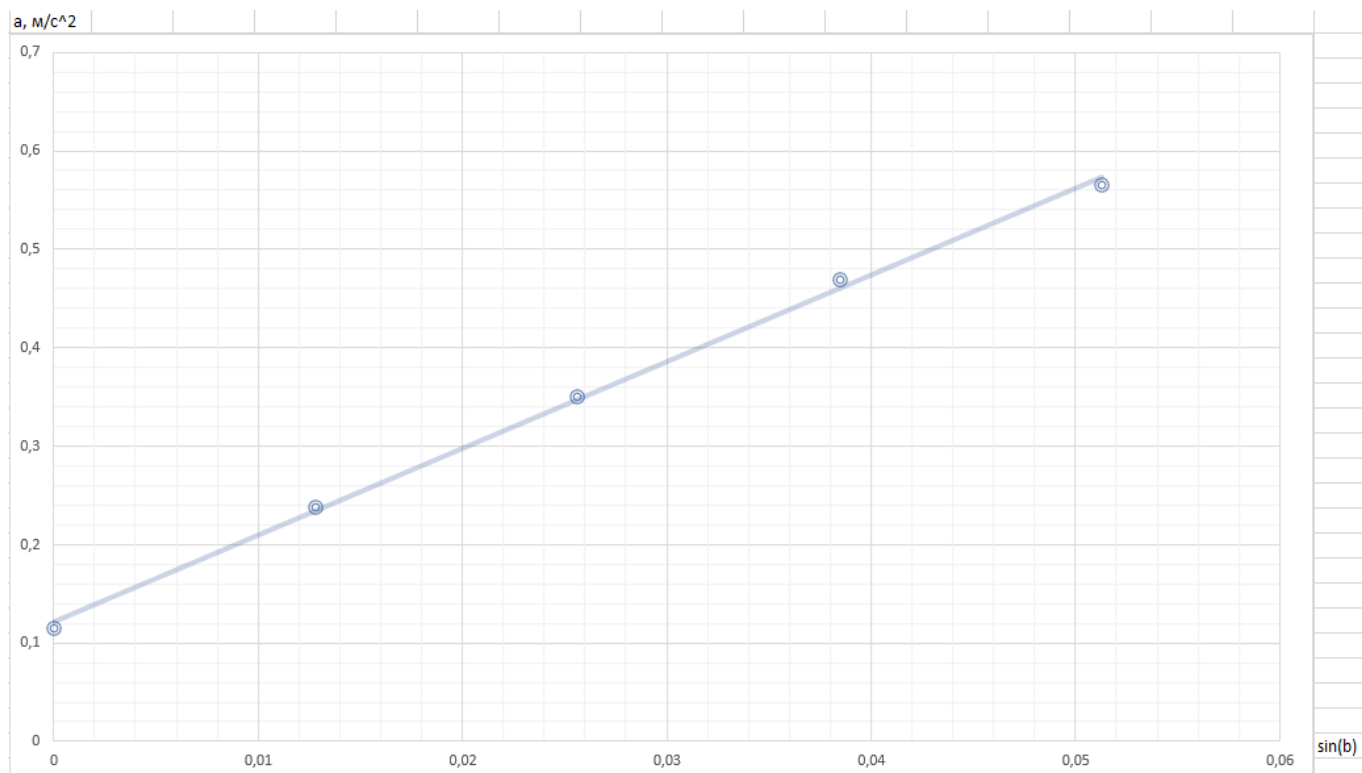


Рис. 2: Зависимость $a = A + B \cdot \sin(\beta)$

XI. Окончательные результаты

Результаты измерений для требуемых значений с учётом доверительных интервалов и погрешностей

- $a = 0,118 \pm 0,0016 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
- $g = 8,8286 \pm 0,3957 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
- $|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = 0,9814 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

XII. Выводы и анализ результатов работы

Так как Рис. 1 с учётом погрешности можно считать линейным, то можно сделать вывод, что в ходе эксперимента был доказан равноускоренный характер тела по наклонной плоскости. Была изучена зависимость ускорения тела от угла наклона плоскости. Она оказалась линейной, что подтверждает Рис. 2. На основе полученных данных было вычислено ускорение свободного падения. Абсолютное отклонение экспериментального значения свободного падения от табличного значения для данной широты отличается на 11,12%.

XIII. Контрольные вопросы

1. Траектория - линия, вдоль которой движется материальная точка.
Перемещение - направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положения тела.
Путь - длина траектории.
- 2.
3. Тогда скорость постоянна. Средняя - отношение пути (приращения функции) к времени (приращению аргумента) в каждый момент. Мгновенная - дифференциально малое изменение скорости (производная по функции перемещения). Тогда если в каждый момент времени они равны, то скорость постоянна.
4. Модуль ускорения будет больше в случае направления вниз, т.к. в таком случае ускорение свободного падения будет сонаправлено с движением и его собственным ускорением.
- 5.
6. Чем больше наклон, тем меньше сила трения.
7. Ускорение свободного падения тем больше, чем ближе к полюсу планеты. Ускорение свободного падения из второго закона Ньютона - отношение силы тяжести к массе тела. В то же время сила тяжести обратно пропорциональна радиусу планеты в квадрате, и т.к. на поверхности Земли расстояние от центра не постоянно и тем меньше чем ближе к полюсам, получим зависимость g от широты.