



# Лабораторная Работа №1.02

➤ Subject



Physics

## Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

Physics Labwork 2

Sheet1 x, m, x'm, h0, mm, h0', mm 0.22, 1, 21.7, 22.5

x, m	x'm	h0, mm(m)	h0', mm(m)
0.22	1	21.7	22.5
0.22	1	0.0217	0.0225

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1lh0HMmhCdxfwDRpMBdX4ue7GMdNavxt9jGomD\\_UPK8/edit#gid=0](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1lh0HMmhCdxfwDRpMBdX4ue7GMdNavxt9jGomD_UPK8/edit#gid=0)

### Цели работы:

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

### Задачи:

1. Измерение времени движения тележки по рельсу с постоянным 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.

### Объект исследования:

Тележка, перемещающаяся по наклонной плоскости при использовании воздушной подушки.

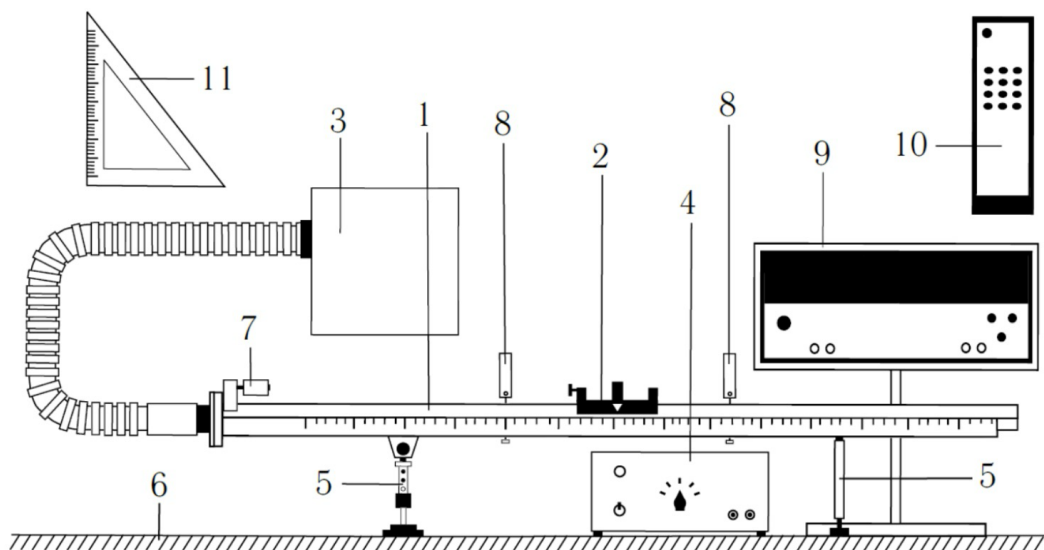
### Метод проведения эксперимента:

Многочисленные измерения времени, в течение которого тележка проходит через оптические ворота, а также проверка соответствия полученных данных теории движения тележки по наклонной поверхности.

### Экспериментальная установка:

Схема:

Установка состоит из тележки "2", движущейся по рельсу "1", который поддерживается на воздушной подушке, создаваемой с помощью воздушного насоса "3", чтобы уменьшить трение между тележкой и рельсом. На тележке установлен флажок с черными вертикальными полосами, которые регистрируются цифровым измерительным прибором, когда тележка проходит через оптические ворота. Для измерения вертикальных координат точек используется угольник.



## Проведение измерений:

- Мы установили направляющий рельс горизонтально. Для этого мы подключили вилку насоса к блоку питания и включили источник. Затем мы поместили тележку на рельс около точки с координатой 0,6 м. Путем вращения винта правой опоры мы достигли неподвижности тележки. Выключили насос.
- Мы установили угольник вертикально на опорной плоскости и измерили вертикальные координаты  $h_0$  и  $h'_0$  верхнего края линейки на рельсе в точках  $x = 0,22\text{ м}$  и  $x' = 1,0\text{ м}$ . Записали координаты  $x$  и  $x'$ , а также измеренные значения  $h_0$  и  $h'_0$  в Табл. 2  
А также в её дубликат в экселе, доступный по ссылке выше.

	A	B	C	D
	x, m	x',m	h0,mm	h0',mm
	0.22	1	21.7	22.5

- Мы подложили одну стандартную пластину толщиной примерно 1 см под обе ножки левой опоры.
- Включили прибор ПКЦ-3, повернув тумблер на правой боковой панели.
- Последовательно нажали на дистанционном пульте управления три кнопки: «режим работы: 0», «механика: сброс», «индикация: время  $t_1, t_2$ ».
- Установили первые оптические ворота в точке с координатой  $x_1 = 0,15\text{ м}$ , а вторые —  $x_2 = 0,40\text{ м}$ .
- Включили блок питания воздушного насоса ВС 4-15.
- На дистанционном пульте управления нажали кнопку «механика: сброс» на цифровом приборе.
- Тележку установили в крайнем левом положении и прижали к электромагниту.
- На дистанционном пульте управления нажали кнопку «механика: пуск». Тележка начала двигаться и последовательно прошла левые и правые оптические ворота. На дисплее прибора ПКЦ-3 отразились промежутки времени  $t_1$  и  $t_2$  от начала движения до прохождения ворот. Величины  $x_1, x_2, t_1, t_2$  внесли в Табл. 3 и её дубликат в экселе.

	A	B	C	D	E
1	x1, m	x2, m	t1, c	t2, c	
2	0.15	0.4	1.8	2.8	
3	0.15	0.5	1.8	3.1	
4	0.15	0.7	1.9	3.7	
5	0.15	0.9	1.9	4.3	
6	0.15	1.1	1.8	4.6	
7					
8					
9					

11. Блок питания воздушного насоса BC 4-15 был выключен.

12. Вторые оптические ворота были установлены последовательно в точках  $x_2 = 0,50; 0,70; 0,90; 1,10\text{ м}$  и для каждого положения оптических ворот были выполнены пункты 5–11. (и занесены в Табл. 4 + 5).

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Added Height	h, mm	h', mm	Test Number	t1, c	t2, c		s
2	1	21.7	22.5	1	1.7	4.5		
3	1	21.7	22.5	2	1.8	4.6		
4	1	21.7	22.5	3	1.8	4.6		
5	1	21.7	22.5	4	1.8	4.6		
6	1	21.7	22.5	5	1.9	4.7		
7	2	20.5	22.5	1	1.2	3.2		
8	2	20.5	22.5	2	1.2	3.2		
9	2	20.5	22.5	3	1.2	3.1		
10	2	20.5	22.5	4	1.2	3.2		
11	2	20.5	22.5	5	1.2	3.1		
12	3	19.5	22.5	1	1	2.5		
13	3	19.5	22.5	2	0.9	2.5		
14	3	19.5	22.5	3	1	2.5		
15	3	19.5	22.5	4	0.9	2.5		
16	3	19.5	22.5	5	1	2.5		
17	4	18.3	22.5	1	0.8	2.2		
18	4	18.3	22.5	2	0.8	2.2		
19	4	18.3	22.5	3	0.8	2.2		
20	4	18.3	22.5	4	0.8	2.2		
21	4	18.3	22.5	5	0.8	2.2		
22	5	17.2	22.5	1	0.7	1.9		
23	5	17.2	22.5	2	0.6	1.9		
24	5	17.2	22.5	3	0.6	1.9		
25	5	17.2	22.5	4	0.6	1.9		
26	5	17.2	22.5	5	0.6	1.9		
27								

## Обработка результатов

### Задание 1

- По результатам прямых измерений из Табл. 3 были рассчитаны величины  $Y = x_2 - x_1$  и  $Z = \frac{(t_2^2 - t_1^2)}{2}$  и их погрешности. Полученные значения и погрешности были записаны в Табл. 3.

	F	G
	$Y = x_2 - x_1$	$Z = (t_2^2 - t_1^2)/2$
	0.25	2.3
	0.35	3.185
	0.55	5.04
	0.75	7.44
	0.95	8.96
		Sum:

- Теоретическая зависимость  $Y$  от  $Z$  должна была иметь линейный вид  $Y = aZ$ , с угловым коэффициентом равным ускорению. Найденные точки экспериментальной зависимости  $\{Y_i; Z_i\}$  и их погрешности были нанесены на график. (см.граф.1)
- Найдено ускорение тележки методом наименьших квадратов (МНК).

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i Y_i}{\sum_{i=1}^N Z_i^2} = 0.1051376565$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - aZ_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N Z_i^2}} = 0.0016$$

	H	I	J
	$(t^2)/2$	$Z_i \cdot Y_i$	$Z_i^2$
2.3		0.575	5.29
3.185		1.11475	10.144225
5.04		2.772	25.4016
7.44		5.58	55.3536
8.96		8.512	80.2816
Sum:		18.55375	176.471025
a =		0.1051376565	
сигма =		0.0016	

- Используя найденное значение ускорения  $a$ , построили график зависимости  $Y(Z) = aZ$  на том же рисунке, что и экспериментальные точки  $\{Y_i; Z_i\}$ . (см.граф.1)

## Задание 2

- Для каждой серии измерений из Табл. 4 вычислили значение синуса угла наклона рельса к горизонту по формуле:

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

В таблице, это видно под столбцом H по формуле:

$=((\text{Sheet1!}\$C\$3 - B4) - (\text{Sheet1!}\$D\$3 - C4))/(\text{Sheet1!}\$B\$2\text{Sheet1!}\$A\$2)$  .

- Для каждой серии измерений были вычислены средние значения времени  $t_1$  и  $t_2$  и их погрешности и помещены в таблице под столбцами I:V.
- Вычислили значение ускорения и его погрешность для каждой серии измерений по формулам:

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

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

тут  $\Delta x_{n1}$  и  $\Delta x_{n2}$  – приборные погрешности измерения координат  $x_1$  и  $x_2$ ;  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  – абсолютные погрешности значений времен  $t_1$  и  $t_2$ .

- Результаты расчета ускорения в виде доверительного интервала  $\langle a \rangle \pm \Delta a$  были внесены в последний столбец Табл. 4+5.
- Мы нашли коэффициенты линейной зависимости по следующим формулам:

-- -- --

$$B \equiv g = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2} = 9.32784233$$

$$A = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N a_i - B \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right) = 0.04857$$

6. Рассчитали СКО для ускорения свободного падения (коэффициента  $B$ ) по формуле. (см. расчеты в нижней части листка 3 таблицы)

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(N-2)}} = 0.324$$

где

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

				$a = A + B \sin \alpha$
<b>d</b>	0.03848357143	0.00148098527		0.04857
	-0.009525182358	0.000090729098		0.1920752666
	-0.01889217579	0.000356914305		0.3116629888
	-0.08373968397	0.007012334672		0.4551682554
	-0.1030837974	0.01062626929		0.5867147498

$$D = \sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \sin \alpha_i \right)^2 = 0.00135$$

Определили абсолютную погрешность коэффициента для доверительной вероятности  $\alpha = 0,90$  по формуле: (см. расчеты в расчете погрешностей измерений задания 2)

$$\Delta g = 2\sigma_g = 0.648$$

Рассчитали относительную погрешность  $g$ :

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} \cdot 100\% = 6.94\%$$

Абсолютное отклонение значения  $g$ :  $|g_{\text{эксп}} - g_{\text{табл}}| = 9.8195 - 9.32784233 = 0.4916576702 \text{ м/с}^2$

### Расчет погрешностей измерений:

#### Задание 1

Абсолютная погрешность коэффициента  $a$  для доверительной вероятности  $\alpha = 0.9$ :

$$\Delta_a = 2\sigma_a = 0.0032$$

Относительная погрешность ускорения:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = 6.94\%$$

#### Задание 2

	для $t_1, c$		для $t_2, c$	
$N_{\text{пл}}$	$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}}$	$\Delta_{t_1} = \sqrt{(t_{a,n} S_t)^2 + (\frac{2}{3} \Delta_n)^2}$	$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}}$	$\Delta_{t_1} = \sqrt{(t_{a,n} S_t)^2 + (\frac{2}{3} \Delta_n)^2}$
1	0.036	0.1104	0.036	0.1104
2	0	0.0666	0.0245	0.095

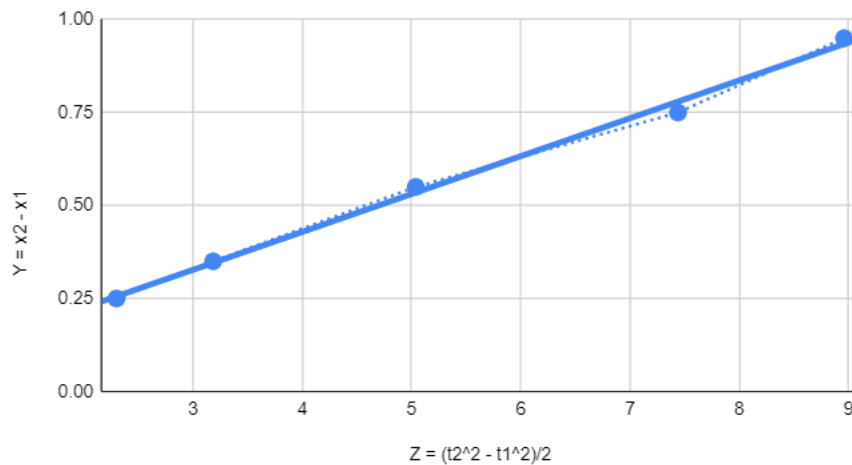
3	0.0245	0.095	0	0.0666
4	0	0.0666	0	0.0666
5	0.02	0.0866	0	0.0666

### Графики:

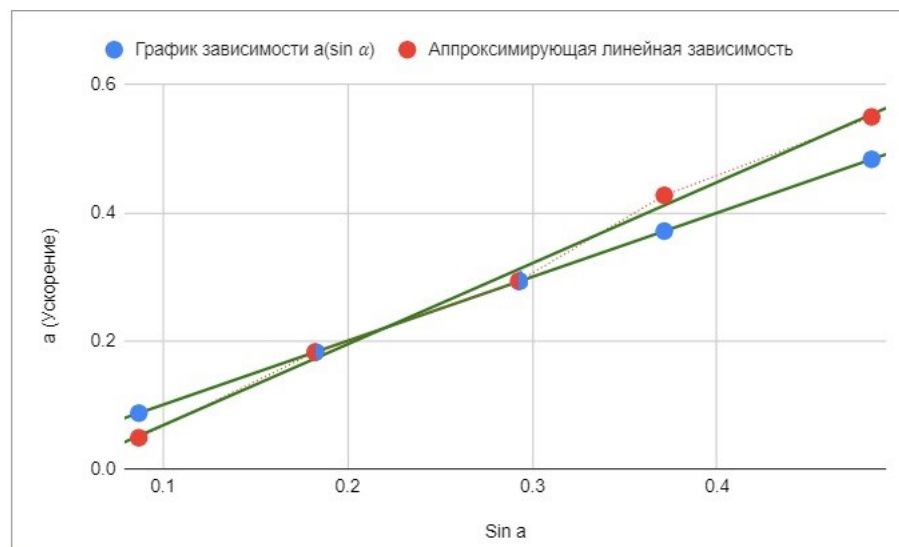
1) График зависимости  $Y = Y(Z)$ :

$\frac{(t_2^2 - t_1^2)}{2}$  относительно  $x_2 - x_1$

$Z = (t_2^2 - t_1^2)/2$  относительно параметра " $Y = x_2 - x_1$ "



2) График зависимости ускорения  $a$  от  $\sin \alpha$ :



### Выводы и анализ результатов работы:

#### Для задания 1:

На основе полученных результатов (с одной пластиной) был создан график с аппроксимирующей линией. Используя метод наименьших квадратов, был определен угловой коэффициент со значением  $a = (0,1051 \pm 0,0032) \text{ (м/с}^2\text{)}$ . Анализ показал, что экспериментальный график схож с аналитическим при таком угловом коэффициенте. Это подтверждает предположение о равномерно ускоренном движении тележки в условиях эксперимента. Вычисленная относительная погрешность равна 6.94%, что находится в допустимых пределах.

#### Для задания 2:

Исследование позволило определить ускорение свободного падения как  $g = (9.327 \pm 0.648)\text{м/с}^2$ . При анализе результатов было выявлено, что абсолютное отклонение ( $|g_{\text{эскп}} - g_{\text{табл}}| = 0.4916$ ) для  $g$  превосходит среднеквадратичное отклонение ( $\sigma_g = 0.324$ ). Это обусловлено тем, что в наших условиях время было измерено с точностью только до одной цифры после запятой.

## Результаты:

Табл. 1

Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_{\text{и}}$
Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/seg	—	5 мм
Линейка на угольнике	250 мм	1 мм/seg	—	0,5 мм
ПКЦ-3 в режиме секундомера	100 с	0,1 с	—	0,1 с

Табл. 2

$x, m$	$x', m$	$h_0, mm$	$h'_0, mm$
0.22	1	21.7	22.5

Табл. 3

$x_1, m$	$x_2, m$	$t_1, c$	$t_2, c$	$x_2 - x_1, m$	$\frac{(t_2^2 - t_1^2)}{2}, c^2$
0.15	0.4	1.8	2.8	0.25	2.3
0.15	0.5	1.8	3.1	0.35	3.185
0.15	0.7	1.9	3.7	0.55	5.04
0.15	0.9	1.9	4.3	0.75	7.44
0.15	1.1	1.8	4.6	0.95	8.96

Табл. 4+5

$N_{\text{пл}}$	$h, mm$	$h', mm$	$N_2$	$t_1, c$	$t_2, c$	$\sin(\alpha)$	$\langle t_1 \rangle \pm \Delta$
1	21.7	22.5	1	1.7	4.5	0	$1.8 \pm 0.$
			2	1.8	4.6	0	$1.8 \pm 0.$
			3	1.8	4.6	0	$1.8 \pm 0.$
			4	1.8	4.6	0	$1.8 \pm 0.$
			5	1.9	4.7	0	$1.8 \pm 0.$
2	20.5	22.5	1	1.2	3.2	0.1538461538	$1.2 \pm 0.$
			2	1.2	3.2	0.1538461538	$1.2 \pm 0.$
			3	1.2	3.1	0.1538461538	$1.2 \pm 0.$
			4	1.2	3.2	0.1538461538	$1.2 \pm 0.$
			5	1.2	3.1	0.1538461538	$1.2 \pm 0.$
3	19.5	22.5	1	1	2.5	0.2820512821	$0.96 \pm 0.09523$
			2	0.9	2.5	0.2820512821	$0.96 \pm 0.09523$
			3	1	2.5	0.2820512821	$0.96 \pm 0.09523$

			4	0.9	2.5	0.2820512821	$0.96 \pm 0.09523$
			5	1	2.5	0.2820512821	$0.96 \pm 0.09523$
4	18.3	22.5	1	0.8	2.2	0.4358974359	$0.8 \pm 0.$
			2	0.8	2.2	0.4358974359	$0.8 \pm 0.$
			3	0.8	2.2	0.4358974359	$0.8 \pm 0.$
			4	0.8	2.2	0.4358974359	$0.8 \pm 0.$
			5	0.8	2.2	0.4358974359	$0.8 \pm 0.$
5	17.2	22.5	1	0.7	1.9	0.5769230769	$0.62 \pm 0.08681$
			2	0.6	1.9	0.5769230769	$0.62 \pm 0.08681$
			3	0.6	1.9	0.5769230769	$0.62 \pm 0.08681$
			4	0.6	1.9	0.5769230769	$0.62 \pm 0.08681$
			5	0.6	1.9	0.5769230769	$0.62 \pm 0.08681$

$N_{\text{пл}}$  — количество пластин

$h$  — высота на координате  $x = 0,22m$

$h'$  — высота на координате  $x' = 1,00m$