

Группа Р3110

К работе допущен _____

Студент Романов Артём Максимович

Работа выполнена _____

Преподаватель Коробков М. П.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.03

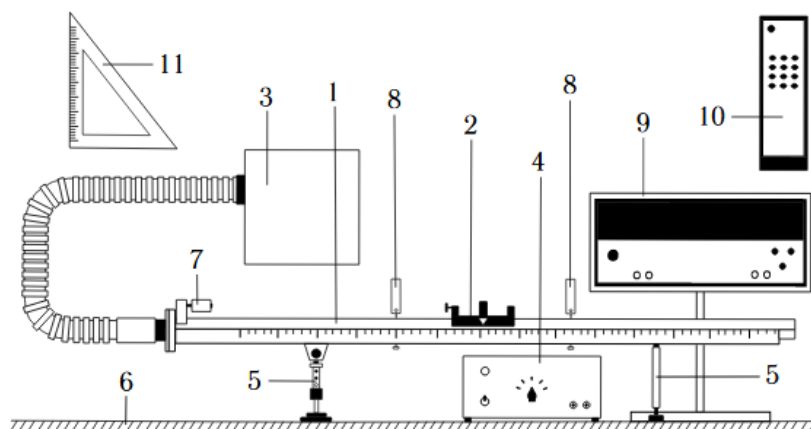
Изучение центрального соударения двух тел.

Проверка второго закона Ньютона

1. Цель работы.

1. Исследование упругого и неупругого центрального соударения тел на примере тележек, движущихся с малым трением
2. Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки

2. Схема 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

3. Измерительные приборы

№	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Δ
1	Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	-	5 мм
2	ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9,99 м/с	0.01г	-	0.01 м/с
3	Лабораторные весы	250 г	0.01г	-	0,01г

4. Объект исследования

- Упругое, неупругое соударение тележек на горизонтальном рельсе
- Ускорение тележки под действием постоянной силы

5. Метод экспериментального исследования.

1. Многократные прямые измерения
2. Косвенные измерения

6. Рабочие формулы и исходные данные

$$p_{10x} = m_1 v_{10x}, \text{ - импульс системы до соударения} \quad p_{1x} = m_1 v_{1x}, p_{2x} = m_2 v_{2x}$$

$$p = (m_1 + m_2)v \text{ - импульс системы после соударения}$$

$$\delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1 \text{ - относительные изменения импульса}$$

$$\delta_W = \frac{\Delta W_k}{W_{n0}} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1 \text{ - относительные изменения кинетической энергии}$$

$$\text{системы} \quad \bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} \quad \bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} \text{ - средние значения относительных изменений импульса и энергии}$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{a\text{man}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} \quad \Delta \bar{\delta}_W = t_{a\text{aca}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} \text{ - погрешности их средних значений}$$

$$\delta_w^{(3)} = \Delta W_x / W_{x0} = \frac{(m_1 + m_2)v_2^2}{m_1 v_{10}^2} - 1 \text{ - экспериментальное значение относительного изменения механической энергии}$$

$$\delta_W^{(T)} = -\frac{W_{\text{nor}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} - 1 \text{ - теоретическое значение относительного изменения механической энергии}$$

$$a = \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2(x_2 - x_1)} \text{ - ускорение тележки}$$

$$T = m(g - a) \text{ - сила натяжения нити}$$

РЗ110 Романов Артём Максимович

Таблица 1.Р

№ опыта	m_1 , Г	m_2 , Г	v_{10x} , М/С	v_{1x} , М/С	v_{2x} , М/С
1	52,1	99,5	0,49	-0,15	0,31
2			0,49	-0,13	0,32
3			0,49	-0,09	0,30
4			0,49	-0,09	0,31
5			0,48	-0,15	0,31

Таблица 2.Р

№ опыта	m_1 , Г	m_2 , Г	v_{10} , М/С	v , М/С
1	54,6	102,6	0,47	0,11
2			0,48	0,16
3			0,48	0,16
4			0,46	0,15
5			0,48	0,16

Таблица 3.Р. Разгоняемое тело – тележка 1. $M_1 = 50,6$

№ опыта	Состав гирьки	m , г	v_1 , М/С	v_2 , М/С
1	подвеска	2,1	0,26	0,60
2	подвеска + одна шайба	2,9	0,28	0,69
3	подвеска + две шайбы	3,7	0,40	0,87
4	подвеска + три шайбы	4,5	0,43	0,94
5	подвеска + четыре шайбы	5,3	0,49	1,08
6	подвеска + пять шайб	6,1	0,51	1,15
7	подвеска + шесть шайб	6,9	0,52	1,09

25.11.20
РЗ110

РЗ110 Романов Артём Максимович

Таблица 1.1

№ опыта	m_1 , Г	m_2 , Г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	52,1	50,5	0,48	0	0,46
2			0,49	0	0,47
3			0,49	0	0,46
4			0,48	0	0,46
5			0,48	0	0,46

Таблица 2.1

№ опыта	m_1 , Г	m_2 , Г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	54,6	53,6	0,48	0,21
2			0,45	0,21
3			0,48	0,21
4			0,48	0,22
5			0,46	0,20

Таблица 3.1. Разгоняемое тело – тележка 1. $M_1 = \dots 99,6$

№ опыта	Состав гирьки	m , г	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1	подвеска	2,1	0,12	0,30
2	подвеска + одна шайба	2,9	0,24	0,56
3	подвеска + две шайбы	3,7	0,24	0,56
4	подвеска + три шайбы	4,5	0,26	0,63
5	подвеска + четыре шайбы	5,3	0,30	0,73
6	подвеска + пять шайб	6,1	0,32	0,77
7	подвеска + шесть шайб	6,9	0,37	0,87

25.11.20


7. Расчёт результатов косвенных измерений

Задание 1

1) Расчёт импульсов тел по данным таблицы 1.1

Таблица 4.1

№ опыта	p_{10x} мН · с	p_{1x} мН · с	p_{2x} мН · с	δ_p	δ_W
1	25,01	0	23,23	-0,07	-0,11
2	25,53	0	23,74	-0,07	-0,11
3	25,53	0	23,23	-0,09	-0,15
4	25,01	0	23,23	-0,07	-0,11
5	25,01	0	23,23	-0,07	-0,11

$$\delta_p = \frac{\Delta p_x}{p_{10x}} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1 = \frac{(0 + 23,23)}{25,008} - 1 = -0,07$$

$$\delta_W = \frac{\Delta W_k}{W_{n0}} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1 = \frac{52,1 * 0^2 + 50,5 * 0,46^2}{52,1 * 0,48^2} - 1 = -0,11$$

2) Расчёт средних значений $\bar{\delta}_p, \bar{\delta}_W$ относительных изменений импульса и энергии по двум соседним колонкам таблицы 4.1

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = \frac{-0,37}{5} = -0,074$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = \frac{-0,59}{5} = -0,118$$

3) Нахождение погрешностей их средних значений

$t_{\alpha_{\text{дов}}, N}$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha_{\text{дов}} = 0,95$ и количества измерений N .

$$t_{\alpha_{\text{дов}}, N} = 2,8$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{ман}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 2,8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (-0,07 + 0,37)^2}{5(5-1)}} = 0,011$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{aca}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} = 2,8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (-0,11 + 0,11)^2}{5(5-1)}} = 0,02$$

4) Аналогично по данным из таблицы 1.2 заполняем следующую таблицу по предыдущим формулам. Результат представлен в таблице 4.2

Таблица 4.2

№	p_{10x} , мН·с	p_{1x} , мН·с	p_{2x} , мН·с	σ_p	σ_W
1	25,53	-7,812	30,85	-0,09	-0,14
2	25,53	-6,77	31,84	-0,02	-0,11
3	25,53	-4,69	29,85	-0,01	-0,25
4	25,53	-4,69	30,85	0,02	-0,2
5	25,008	-7,82	30,85	-0,08	-0,11

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = \frac{-0,18}{5} = -0,036$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{a_{\text{man}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 2,8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (-0,07 + 0,37)^2}{5(5-1)}} = 0,06$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = \frac{-0,118}{5} = -0,16$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{aca}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} = 2,8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (-0,11 + 0,11)^2}{5(5-1)}} = 0,08$$

5) По данным таблицы 2.1 заполняем следующую таблицу

Таблица 5.1

№ опыта	$p_{10},$ мН·с	$p,$ мН · с	δ_p	$\delta_W^{(\text{э})}$	$\delta_W^{(\text{T})}$
1	26,21	11,47	-0,56	-0,62	-0,50
2	24,57	11,47	-0,53	-0,57	
3	26,21	11,47	-0,56	-0,62	
4	26,21	12,01	-0,54	-0,58	
5	25,12	10,92	-0,57	-0,63	

Аналогично по формулам вычислим значения $\bar{\delta}_p$ и $\bar{\delta}_W$ и их погрешности по ранее использованным формулам

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,55$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0,6$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{a_{\text{man}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 0,02$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{aca}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} = 0,03$$

6) По данным таблицы 2.2 заполняем следующую таблицу

Таблица 5.2

№ опыта	$p_{10x},$ мН·с	$p,$ мН · с	σ_p	$\sigma_W^{(\text{э})}$	$\sigma_W^{(\text{T})}$
1	25,66	6,01	-0,77	-0,84	-0,65
2	26,21	8,74	-0,67	-0,68	
3	26,21	8,74	-0,67	-0,68	
4	25,12	8,19	-0,67	-0,69	
5	26,21	8,74	-0,67	-0,68	

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,69$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0,72$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{a_{\text{man}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 0,05$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{aca}}}, N \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} = 0,09$$

Задание 2

Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки. Проверка второго закона Ньютона

- 1) Используя значения координат оптических ворот ($x_1 = 0,150\text{м}$, $x_2 = 0,800\text{м}$) и данные из таблицы 3.1 вычисляем ускорение a тележки и силу T натяжения нити:
Ускорение свободного падения берём $g = 9,82\text{м/с}^2$ (на широте С-Петербурга)

Таблица 6.1

№ опыта	m , г	a , м/с^2	T , мН
1	2,1	0,22	20,13
2	2,9	0,31	27,56
3	3,7	0,46	34,6
4	4,5	0,58	41,53
5	5,3	0,71	48,21
6	6,1	0,82	54,86
7	6,9	0,96	62,82

Используя данную таблицу, нанесём на график точки экспериментальной зависимости T от a .
См. в приложении 1.1

Найдём массу M_1 тележки (как коэффициент наклона экспериментальной зависимости $T(a)$), величину силы трения (как свободный коэффициент) и погрешность массы тележки методом наименьших квадратов.

$$M_1 = \frac{\sum(a_i - \hat{a})(T_i - \hat{T})}{\sum(a_i - \hat{a})^2} = 63,96$$

$$F_{\text{тр}} = \hat{T} - M_1 \hat{a} = -1,12$$

Таблица 6.2

№ опыта	m , г	a , м/с^2	T , мН
1	2,1	0,09	20,48
2	2,9	0,16	27,88
3	3,7	0,20	35,57
4	4,5	0,25	43,01
5	5,3	0,34	50,19
6	6,1	0,38	57,54
7	6,9	0,48	64,40

Используя данную таблицу, нанесём на график точки экспериментальной зависимости T от a .
См. в приложении 1.2

$$M_1 = \frac{\sum(a_i - \hat{a})(T_i - \hat{T})}{\sum(a_i - \hat{a})^2} = 112,18$$

$$F_{\text{тр}} = \hat{T} - M_1 \hat{a} = 12,23$$

11. Графики



12. Окончательные результаты.

- 1) Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной.

Две легкие тележки

$$\bar{\delta}_p = -0,074 \pm 0,011$$

$$\bar{\delta}_w = -0,118 \pm 0,02$$

Легкая и утяжеленная

$$\bar{\delta}_p = -0,36 \pm 0,06$$

$$\bar{\delta}_w = -0,16 \pm 0,08$$

- 2) Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной.

При неупругом соударении

$$\bar{\delta}_p = -0,55 \pm 0,02$$

$$\delta_w^{(\text{э})} = -0,6 \pm 0,03$$

При соударении легкой с тяжелой

$$\bar{\delta}_p = -0,69 \pm 0,05$$

$$\delta_w^{(\text{э})} = -0,72 \pm 0,09$$

- 3) Теоретические значения относительного изменения энергии при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной. Вывод: попадает или нет теоретическое значение в указанные в п.2 экспериментальные доверительные интервалы

При неупругом соударении

$$\delta_w^{(T)} = -0,5$$

При соударении легкой с тяжелой

$$\delta_w^{(T)} = -0,65$$

Можно сделать вывод о том, что теоретические и экспериментальные значения не совпадают

- 4) Доверительные интервалы для масс легкой и утяжеленной тележек, найденные из экспериментальной зависимости силы натяжения от ускорения тележки. Вывод о согласии табличных значений масс тележек с этими доверительными интервалами.

Легкая тележка

$$M_1 = 63,96 \pm 18,47$$

Утяжеленная тележка

$$M_1 = 112,18 \pm 11,03$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В данной лабораторной работе я исследовал упругое и неупругое центральное соударения тел на примере тележек, движущихся с малым трением, а также исследовал зависимость ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки. Все полученные мною результаты указаны в результатах работы.