
Группа R3143 К работе допущен _____
Студенты Сайфуллин Динислам
Бахтаиров Роман Работа выполнена _____
Преподаватель Пулькин Н. С Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.03

«Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона»

Цели 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.

Задачи:

1. Измерение скоростей тележек до и после соударения.
2. Измерение скорости тележки при ее разгоне под действием постоянной силы.
3. Исследование потерь импульса и механической энергии при упругом и неупругом соударении двух тележек.
4. Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки. Проверка второго закона Ньютона.
3. Объект исследования.
Упругий и неупругий центральный удар двух тел, воздействие постоянной силы на тело
4. Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения времени скорости тел при прохождении через оптические ворота

5. Рабочие формулы и исходные данные.

m_1 – масса первой тележки,

m_2 – масса второй тележки,

v_{10} – скорость первой тележки до соударения,

v_{1x} – скорость первой тележки после соударения,

v_{2x} – скорость второй тележки после соударения,

p_{10x} – импульс первой тележки до соударения,

p_{1x} – импульс первой тележки после соударения,

p_{2x} – импульс второй тележки после соударения,

δ_p – относительное изменения импульса системы при соударении,

δ_W – относительное изменения кинетической энергии системы при соударении,

$\overline{\delta_p}$ и $\overline{\delta_W}$ – средние значения данных величин соответственно, погрешности

данных величин – $\Delta\overline{\delta_p}$, $\Delta\overline{\delta_W}$; $\delta_W^{(T)}$ – теоретическое значение относительного изменения механической энергии.

$$p_{10x} = m_1 v_{10x}, \quad p_{1x} = m_1 v_{1x}, \quad p_{2x} = m_2 v_{2x}.$$

$$\delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1 \quad \delta_W = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1$$

$$\Delta\overline{\delta_p} = t_{\alpha_{\text{доп}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \overline{\delta_p})^2}{N(N-1)}}; \quad \Delta\overline{\delta_W} = t_{\alpha_{\text{доп}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \overline{\delta_W})^2}{N(N-1)}}$$

где $t_{\alpha_{\text{доп}}, N}$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha_{\text{доп}} = 0,95$

$$\delta_W^{(T)} = -\frac{W_{\text{пот}}}{m_1 v_{10}^2} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

v_{10} – скорость первой тележки до соударения, v – скорость системы тележек после неупругого соударения

$p_{10} = m_1 v_{10}$ – импульс системы до соударения;

$p = (m_1 + m_2) v$ – импульс системы после соударения;

$$\delta_p = \Delta p / p_{10} = \frac{p}{p_{10}} - 1 \text{ – относительное изменение импульса;}$$

$\delta_W^{(э)}$ – экспериментальное значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

$$\delta_W^{(э)} = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{m_1 v_{10}^2} - 1,$$

$\delta_W^{(T)}$ – теоретическое значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

$$\delta_W^{(\tau)} = -\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

m – масса гирьки,

v_1 - скорость тележки при прохождении первых ворот,

v_2 - скорость тележки при прохождении вторых ворот,

a - ускорение тележки,

T - сила натяжения нити,

M_1 - масса тележки,

b – коэффициент наклона экспериментальной зависимости,

$F_{\text{тр}}$ – сила трения, действующая на тележку.

$$a = \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2(x_2 - x_1)}, \quad T = m(g - a)$$

$$b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2};$$

$$ma = mg - T$$

6. Измерительные приборы.

Наименование средств измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность
Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	-	0.5 см
ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9.99 м/с	0.01 м/с	-	0.01 м/с
Лабораторные весы	250 г	0.01 г	-	0.01 г

7. Схема установки.

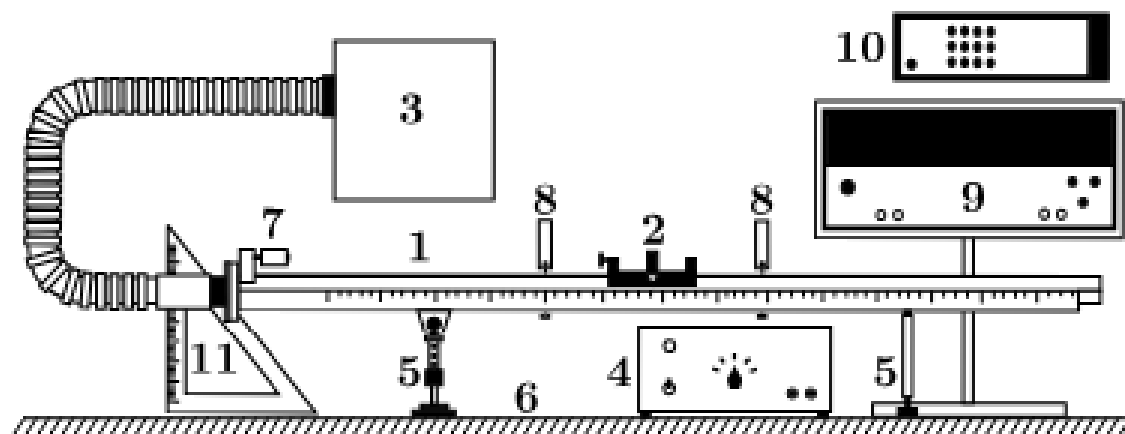


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки для первой части работы изображен на Рис. 3. В состав установки входят:

1. Рельс с сантиметровой шкалой на лицевой стороне
2. Сталкивающиеся тележки
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-38.

Результаты прямых измерений и их обработки.

Задание 1.1

Таблица 1. Прямые измерения для упругого удара(без утяжеления)

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50	47,1	0,35	0	0,28
2			0,34	0	0,27
3			0,34	0	0,27
4			0,33	0	0,27
5			0,36	0	0,29

Таблица 7. Расчёты для опыта 1.

Расчёты следуют из уравнения $p = mv$

№ опыта	P_{10x} , мН·с	P_{1x} , мН·с	P_{2x} , мН·с	δp	δw
1	17,5	0	13,188	-0,2464	-0,39712
2	17	0	12,717	-0,25194	-0,40595
3	17	0	12,717	-0,25194	-0,40595
4	16,5	0	12,717	-0,22927	-0,3694
5	18	0	13,659	-0,24117	-0,38872

Таблица 2. Прямые измерения для упругого удара(с утяжелением)

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50	96,2	0,35	-0,15	0
2			0,33	-0,14	0
3			0,34	-0,13	0
4			0,35	-0,14	0
5			0,35	-0,14	0

Таблица 8. Расчёты для опыта 2.

№ опыта	P_{10x} , мН·с	P_{1x} , мН·с	P_{2x} , мН·с	δp	δw
1	17,5	-7,5	0	-1,42857	-0,81633
2	16,5	-7	0	-1,42424	-0,82002
3	17	-6,5	0	-1,38235	-0,85381
4	17,5	-7	0	-1,4	-0,84
5	17,5	-7	0	-1,4	-0,84

Задание 1.2

Таблица 3. Прямые измерения для неупругого удара(без утяжеления)

№ опыта	$m1, \text{ г}$	$m2, \text{ г}$	$v_{10x}, \text{ м/с}$	$v, \text{ м/с}$
1	52,1	50,1	0,33	0,06
2			0,26	0,04
3			0,29	0
4			0,31	0,08
5			0,29	0

Таблица 9. Расчёты для опыта 3.

№ опыта	$P_{10}, \text{ мН-с}$	$p_1, \text{ мН-с}$	δp	$\delta(\Theta)w$	$\delta(T)w$
1	17,193	6,132	-0,64334	-0,93515	-0,49022
2	13,546	4,088	-0,69821	-0,95357	
3	15,109	0	-1	-1	
4	16,151	8,176	-0,49378	-0,86936	
5	15,109	0	-1	-1	

Таблица 4. Прямые измерения для неупругого удара(с утяжелением)

№ опыта	$m1, \text{ г}$	$m2, \text{ г}$	$v_{10x}, \text{ м/с}$	$v, \text{ м/с}$
1	52,1	99,2	0,3	0
2			0,3	0
3			0,29	0
4			0,3	0
5			0,3	0

Таблица 10. Расчёты для опыта 4.

№ опыта	$P_{10}, \text{ мН-с}$	$p_1, \text{ мН-с}$	δp	$\delta(\Theta)w$	$\delta(T)w$
1	15,63	0	-1	-1	-0,65565
2	15,63	0	-1	-1	
3	15,109	0	-1	-1	
4	15,63	0	-1	-1	
5	15,63	0	-1	-1	

Для каждого эксперимента необходимо вычислить среднее относительное изменение импульса и кинетической энергии, а также определить их доверительные интервалы.

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N}; \bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N}.$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}}; \Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}},$$

Где $t_{\alpha_{\text{дов}}, N} = 2,77$

№ Эксперимента	$\bar{\delta}_p$	$\bar{\delta}_W$	$\Delta \bar{\delta}_p$	$\Delta \bar{\delta}_W$
1	-0,24414	-0,39343	0,011698	0,018855
2	-1,40703	-0,83403	0,023732	0,019312
3	-0,76707	-0,95162	0,279242317	0,067062033
3	-1	-1	0	0

Задание 2

(Тележка без утяжелителя)

$M1 = 48,1$ г

№ опыта	Состав гирьки	m , г	V_1 , м/с	V_2 , м/с
1	подвеска	1,7	0,26	0,51
2	подвеска + одна шайба	2,4	0,36	0,68
3	подвеска + две шайбы	3	0,41	0,78
4	подвеска + три шайбы	3,6	0,46	0,86
5	подвеска + четыре шайбы	4,5	0,49	0,92
6	подвеска + пять шайб	5,3	0,52	0,98
7	подвеска + шесть шайб	5,9	0,57	1,07

Расчёты для таблицы выше:

$$a = \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2(x_2 - x_1)}, T = m(g - a)$$

(при $g = 9,82$ м/с²)

№ опыта	m , г	a , м/с ²	T , мН
1	1,7	0,148077	16,44227
2	2,4	0,256	22,9536
3	3	0,338692	28,44392
4	3,6	0,406154	33,88985
5	4,5	0,466385	42,09127

6	5,3	0,530769	49,23292
7	5,9	0,630769	54,21646

Определим массу тележку с помощью метода наименьших квадратов:

Для уравнения $T(a) = M1a + F_{тр}$

Применив метод находим, что

$M1(\text{коэффициент наклона}) = 83,99626168 \text{ гр}$

$F_{тр}(\text{свободный коэффициент}) = 1,721495327 \text{ мН}$

Причём погрешность $\delta M1 = 10,80204504 \text{ гр}$

(Тележка с утяжелителем)

$M1 = 97,2 \text{ г}$

№ опыта	Состав гирьки	$m, \text{ г}$	$V_1, \text{ м/с}$	$V_2, \text{ м/с}$
1	подвеска	1,7	0,07	0,09
2	подвеска + одна шайба	2,4	0,09	0,11
3	подвеска + две шайбы	3	0,13	0,14
4	подвеска + три шайбы	3,6	0,2	0,3
5	подвеска + четыре шайбы	4,5	0,25	0,37
6	подвеска + пять шайб	5,3	0,28	0,43
7	подвеска + шесть шайб	5,9	0,34	0,58

Расчёты аналогичны предыдущим

№ опыта	$m, \text{ г}$	$a, \text{ м/с}^2$	$T, \text{ мН}$
1	1,7	0,002462	16,68982
2	2,4	0,003077	23,56062
3	3	0,002077	29,45377
4	3,6	0,038462	35,21354
5	4,5	0,057231	43,93246
6	5,3	0,081923	51,61181
7	5,9	0,169846	56,93591

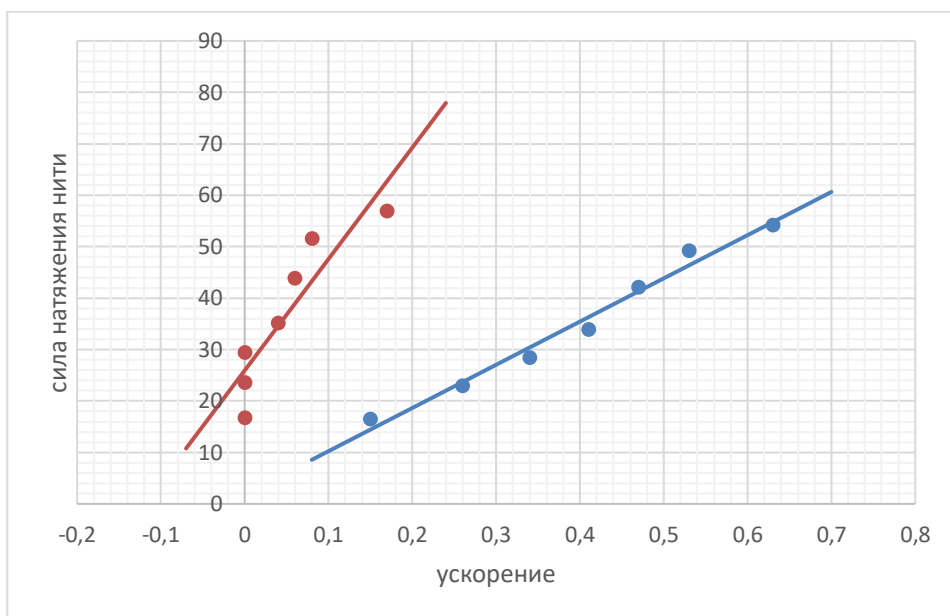
Для уравнения $T(a) = M2a + F_{тр2}$

Применив метод находим, что

$M2(\text{коэффициент наклона}) = 216,630 \text{ гр}$

$F_{тр2}(\text{свободный коэффициент}) = 25,938 \text{ мН}$

Причём погрешность $\delta M2 = 89,913 \text{ гр}$



1. Окончательные результаты.

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной $\overline{\delta_p}$, $\overline{\delta_W}$

$$1) \overline{\delta_p} = -0,244 \pm 0,012$$

$$\overline{\delta_W} = -0,3934 \pm 0,019$$

$$2) \overline{\delta_p} = -1,407 \pm 0,024$$

$$\overline{\delta_W} = -0,834 \pm 0,019$$

Теоретическое значение относительного изменения механической энергии $\delta_W^{(T)} = -0,490$

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной δ_p , $\delta_W^{(\text{э})}$

$$1) \delta_p = -0,767 \pm 0,279$$

$$\delta_W^{(\text{э})} = -0,952 \pm 0,067$$

$$2) \delta_p = -1 \pm 0$$

$$\delta_W^{(\text{э})} = -1 \pm 0$$

Масса M_1 неутяжеленной тележки и доверительный интервал этой величины

$$M_1 = 83,996 \pm 10,802$$

Масса M_1 утяжеленной тележки и доверительный интервал этой величины

$$M_1 = 216,630 \pm 89,913$$

2. Выводы и анализ результатов работы.

Практически все измерения относительного измерения энергии попадают в доверительный интервал.

С учётом погрешности определённые массы тележки оказались довольно блики к реальным