

---

Группа М3217 К работе допущен \_\_\_\_\_  
Студент Бессонов Борис Александрович Работа выполнена \_\_\_\_\_  
Преподаватель Тимофеева Эльвира Олеговна Отчет принят \_\_\_\_\_

## **Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.03**

---

### 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. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Измерение скоростей тележек до и после соударения.
2. Измерение скорости тележки при ее разгоне под действием постоянной силы.
3. Исследование потери 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.

Упругое и неупругое центральное соударение 2х металлических тележек.

### 4. Метод экспериментального исследования.

С помощью специальной установки измерить скорости тележек до и после соударения. Далее по полученным результатам исследовать зависимости.

## 5. Рабочие формулы и исходные данные.

При абсолютно упругом соударении.

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_{10} = m_1 \vec{v}_{1x} + m_2 \vec{v}_{2x} \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2} \end{cases}, \quad \begin{cases} m_1 v_{10} = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2} \end{cases}, \quad \begin{cases} m_1 (v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x} \\ m_1 (v_{10}^2 - v_{1x}^2) = m_2 v_{2x}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_1 (v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x} \\ v_{10} + v_{1x} = v_{2x} \end{cases}, \quad \begin{cases} v_{1x} = \frac{(m_1 - m_2) v_{10}}{m_1 + m_2} \\ v_{1x} = \frac{2 m_1 v_{10} v_{10}}{m_1 + m_2} \end{cases}.$$

При абсолютно неупругом соударении.

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_{10} = (m_1 + m_2) \vec{v} \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + W_{\text{пот}} \end{cases}.$$

$$v = \frac{m_1 v_{10}}{m_1 + m_2}.$$

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

$$\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

$$M \vec{a}_1 = M \vec{g} + \vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{\text{тр}};$$

$$m \vec{a}_2 = m \vec{g} + \vec{T}_2.$$

$$\begin{cases} OY : N = Mg \\ OX : Ma = T - F_{\text{тр}} \end{cases}; \quad \begin{matrix} \text{Схема:} \\ \begin{array}{c} \text{М} \text{ (масса)} \\ \text{рельс} \\ \text{м} \text{ (масса)} \end{array} \end{matrix} \quad \begin{matrix} OY : ma = mg - T, \\ T = Ma + F_{\text{тр}}. \end{matrix}$$

## 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	-	0,5 см
2	ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9.99 м/с	0.01 м/с	-	0.01 м/с
3	Лабораторные весы	250 г	1 г	-	0,1 г
4					

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

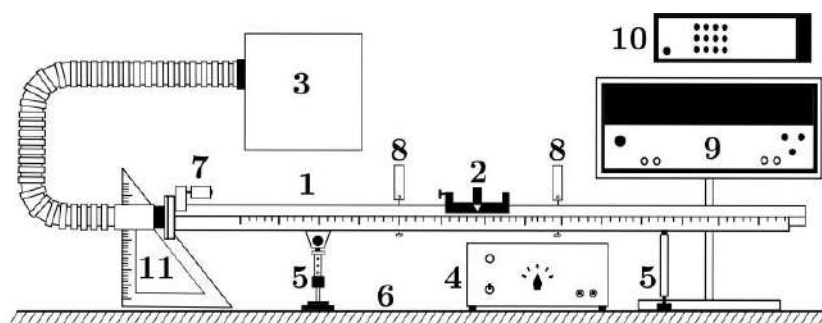


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки

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-3

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Левые оптические ворота:  $x_1 = 0,15$

Правые оптические ворота:  $x_2 = 0,8$

Таблица 1

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10x}$ , м/с	$v_{1x}$ , м/с	$v_{2x}$ , м/с
1	49	48	0,41	0	0,34
2			0,43	0	0,36
3			0,42	0	0,36

4			0,42	0	0,36
5			0,42	0	0,35

Таблица 2

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10x}$ , м/с	$v_{1x}$ , м/с	$v_{2x}$ , м/с
1	49	98	0,42	-0,09	0,24
2			0,42	-0,10	0,23
3			0,42	-0,09	0,24
4			0,42	-0,09	0,23
5			0,42	-0,08	0,22

Таблица 3

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v$ , м/с
1	52	51	0,42	0,16
2			0,42	0,17
3			0,41	0,17
4			0,42	0,17
5			0,41	0,16

Таблица 4

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v$ , м/с
1	52	101	0,41	0
2			0,42	0
3			0,41	0
4			0,41	0
5			0,42	0

Левые оптические ворота:  $x_1 = 0,15$   
Правые оптические ворота:  $x_2 = 0,8$

Таблица 5. Разгоняемое тело – тележка.  $M_1 = 0,49$

№ опыта	Состав гирьки	m, г	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	подвеска	1	0,28	0,68
2	подвеска + одна шайба	2	0,34	0,84
3	подвеска + две шайбы	3	0,40	0,96
4	подвеска + три шайбы	4	0,44	1,06
5	подвеска + четыре шайбы	5	0,49	1,11
6	подвеска + пять шайб	6	0,52	1,25
7	подвеска + шесть шайб	7	0,55	1,33

Таблица 6. Разгоняемое тело – тележка.  $M_2 = 97$

№ опыта	Состав гирьки	m, г	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	подвеска	1	0,17	0,47
2	подвеска + одна шайба	2	0,21	0,57
3	подвеска + две шайбы	3	0,26	0,67
4	подвеска + три шайбы	4	0,27	0,69
5	подвеска + четыре шайбы	5	0,28	0,71
6	подвеска + пять шайб	6	0,30	0,72
7	подвеска + шесть шайб	7	0,34	0,81

#### 9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 7

№ опыта	$p_{10x}$ , мН * с	$p_{1x}$ , мН * с	$p_{2x}$ , мН * с	$\delta p$	$\delta w$
1	20,09	0	16,32	-0,19	-0,33
2	21,07	0	17,28	-0,19	-0,31
3	20,58	0	17,28	-0,16	-0,28
4	20,58	0	17,28	-0,16	-0,28
5	20,58	0	16,80	-0,18	-0,32

$$\bar{\delta}_p = -0,1744; \quad \bar{\delta}_w = -0,3$$

Доверительные интервалы для  $\bar{\delta}_p: \pm 0,02$

Доверительные интервалы для  $\bar{\delta}_w: \pm 0,03$

Таблица 8

<b>N опыта</b>	<b><math>p_{10x}</math>, мН * с</b>	<b><math>p_{1x}</math>, мН * с</b>	<b><math>p_{2x}</math>, мН * с</b>	<b><math>\delta_p</math></b>	<b><math>\delta_w</math></b>
1	20,58	-4,41	23,52	-0,07	-0,3
2	20,58	-4,9	22,54	-0,14	-0,34
3	20,58	-4,41	23,52	-0,07	-0,3
4	20,58	-4,41	22,54	-0,12	-0,35
5	20,58	-3,92	21,56	-0,14	-0,41

$$\bar{\delta}_p = -0,1095; \quad \bar{\delta}_w = -0,34$$

Доверительные интервалы для  $\bar{\delta}_p: \pm 0,1$

Доверительные интервалы для  $\bar{\delta}_w: \pm 0,08$

Таблица 9.

<b>N опыта</b>	<b><math>p_{10}</math>, мН * с</b>	<b><math>p</math>, мН * с</b>	<b><math>\delta_p</math></b>	<b><math>\delta_w^{(\text{э})}</math></b>	<b><math>\delta_w^{(\text{т})}</math></b>
1	21,84	16,48	-0,25	-0,71	-0,5
2	21,84	17,51	-0,2	-0,67	
3	21,32	17,51	-0,18	-0,66	
4	21,84	17,51	-0,2	-0,68	
5	21,32	16,48	-0,23	-0,69	

$$\delta_w^{(\text{э})} (\text{ср}) = -0,68 \pm 0,1$$

$$\delta_w^{(\text{т})} (\text{ср}) = -0,49$$

Таблица 10.

<b>№ опыта</b>	<b><math>p_{10}</math>, мН * с</b>	<b><math>p</math>, мН * с</b>	<b><math>\delta p</math></b>	<b><math>\delta_w^{(э)}</math></b>	<b><math>\delta_w^{(т)}</math></b>
1	21,32	0	-1	-1	-0,66
2	21,84	0	-1	-1	
3	21,32	0	-1	-1	
4	21,32	0	-1	-1	
5	21,84	0	-1	-1	

$$\delta_w^{(э)} (\text{ср}) = -1$$

$$\delta_w^{(т)} (\text{ср}) = -0,66$$

Таблица 11.

<b>№ опыта</b>	<b><math>m</math>, г</b>	<b><math>a</math>, м/с<sup>2</sup></b>	<b><math>T</math>, мН</b>
1	1	0,29	9,52
2	2	0,45	18,73
3	3	0,58	27,7
4	4	0,71	36,42
5	5	0,76	45,28
6	6	0,99	52,96
7	7	1,13	60,84

Таблица 12

<b>№ опыта</b>	<b><math>m</math>, г</b>	<b><math>a</math>, м/с<sup>2</sup></b>	<b><math>T</math>, мН</b>
1	1	0,15	9,67
2	2	0,22	19,2
3	3	0,29	28,58
4	4	0,31	38,04
5	5	0,33	47,46
6	6	0,33	56,94
7	7	0,42	65,83

~~Р~~ Работа 2 (1.03) $\bar{\delta}_p, \bar{\delta}_w$ , для таблицы 7

$$\bar{\delta}_p = \sum_{i=1}^N \delta_{p_i} / N \approx \frac{-0,87}{5} \approx -0,17$$

$$\bar{\delta}_w = \sum_{i=1}^N \frac{\delta w_i}{N} \approx \frac{1,52}{5} \approx 0,3$$

Масса  $M$ , погрешность  $\Delta M$ , метод наим. квадратов

$$T = Ma + F_{TP}$$

• Без груза:

$$\sum a_i \approx 4,93$$

$$\sum T_i = 251,46$$

$$\bar{a} = \frac{1}{7} \cdot 4,93 \approx 0,7$$

$$\bar{T} = \frac{1}{7} \cdot 251,46 \approx 35,92$$

$$b = \frac{\sum (a_i - \bar{a})(T_i - \bar{T})}{\sum (a_i - \bar{a})^2} \approx \frac{32,12}{0,51} \approx 62,87$$

$$\bar{a}^w = \bar{T} - b \bar{a} \approx 35,92 - 62,87 \cdot 0,7 \approx +100, -8,4$$



$$\sum d_i^2 = 39,59$$

$$D = \sum (a_i - \bar{a})^2 \approx 0,51$$

$$S_b^2 = \frac{1}{D} \cdot \frac{\sum d_i^2}{n-2} \approx 15,49 \Rightarrow S_b = 3,94$$

~~$$S_a^2 = \frac{1}{D} \cdot \frac{\sum d_i^2}{n-2}$$~~

$$S_a^2 = \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D} \right) \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 4,079 \Rightarrow S_a \approx 2,01$$

$$\Delta a = 2S_a \approx 7,87$$

$$\Delta b = 2S_b \approx 7,87$$

$$M_1 = 62,87 \pm 4,02$$

$$F_{TP} = -8,4 \pm 7,87$$

$$T = 62,87 \alpha - 8,4$$

$$T(0) = -8,4$$

$$T=0 \Rightarrow \alpha = 0,133$$

• С ругзори

$$\sum a_i \approx 2,04$$

$$\sum T_i = 265,73$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{7} \cdot 2,04 \approx 0,29$$

$$\bar{T} = \frac{1}{7} \cdot 265,73 \approx 37,96$$

$$b = \frac{\sum (a_i - \bar{a})(T_i - \bar{T})}{\sum (a_i - \bar{a})^2} \approx 222,51$$

$$a = \bar{T} - b \cdot \bar{a} \approx -26,88$$

$$\sum d_i^2 = 242,98$$

$$D = \sum (a_i - \bar{a})^2 = 0,04$$

$$S_b^2 = \frac{1}{D} \cdot \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 1081,79 \Rightarrow S_b = 32,89$$

$$S_a^2 = \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D} \right) \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 66,52 \Rightarrow S_a = 16,31$$

$$\Delta a = 2 \cdot S_a = 65,78$$

$$\Delta b = 2 S_b = 16,31$$

$$M_1 = 222,51 \pm 65,78$$

$$F_{TP} = -26,88 \pm 16,31$$

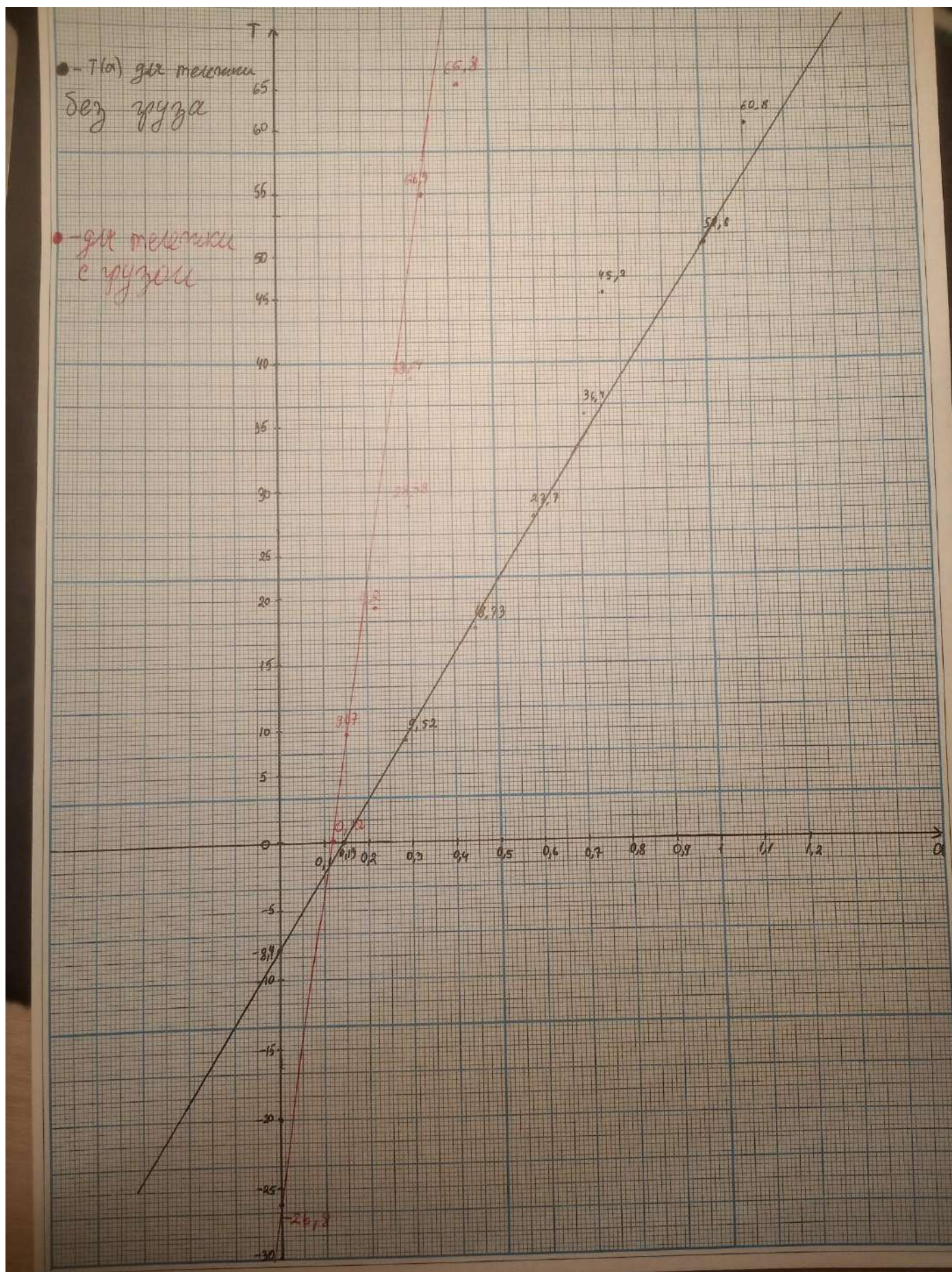
$$T = 222,51 a - 26,88$$

$$T(0) = -26,88$$

$$T=0 \Rightarrow a = 0,12$$



11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).



## 12. Окончательные результаты.

Среднее значение изменения импульса и энергии для 2х одинаковых тележек при упругом соударении:

$$\bar{\delta}_p = -0,17 \pm 0,02; \bar{\delta}_W = -0,3 \pm 0,03$$

Среднее значение изменения импульса и энергии для 2х тележек одна из которых тяжелее другой при упругом соударении:

$$\bar{\delta}_p = -0,11 \pm 0,1; \bar{\delta}_W = -0,34 \pm 0,08$$

Среднее значение изменения импульса и энергии для 2х одинаковых тележек при неупругом соударении:

$$\delta_W^{(\text{э})} (\text{ср}) = -0,68 \pm 0,1$$

$$\delta_W^{(\text{т})} (\text{ср}) = -0,49$$

Среднее значение изменения импульса и энергии для 2х тележек одна из которых тяжелее другой при неупругом соударении:

$$\delta_W^{(\text{э})} (\text{ср}) = -1$$

$$\delta_W^{(\text{т})} (\text{ср}) = -0,66$$

Масса тележки как коэффициент наклона экспериментальной зависимости:

$$M_1 = 62,86 \pm 4,04$$

$$F_{\text{тр}} = -8,4 \pm 4,87$$

$$M_2 = 222,51 \pm 65,76$$

$$F_{\text{тр}} = 26,88 \pm 16,31$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

При выполнении данной лабораторной работы были проведены измерения скорости двух тележек при соударении, а далее по полученным результатам были рассчитаны импульс и энергия тел до и после удара. Методом наименьших квадратов была рассчитана теоретическая масса тележки по данным силы натяжения нити и ускорению, а также доверительные результаты.

Также было выявлена закономерность, что при увеличении массы тележки и не изменении силы, действующей на нее, ускорение и скорость тележки уменьшается.

## 14. Дополнительные задания.

## 15. Выполнение дополнительных заданий.

16. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).