

---

Группа 1.4

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студенты Рязанов Н. С., Ткачев Д. В.

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Хвастунов Н. Н.

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. Задачи, решаемые при выполнении работы:

- 1) Измерение скоростей тележек до и после соударения.
- 2) Измерение скорости тележки при её 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:

Импульс и механическая энергия системы двух тележек при их центральном соударении.

## 4. Метод экспериментального исследования:

Измерение скоростей тележек до и после соударения, а также скорости тележки при её разгоне под действием силы натяжения нити с гирькой.

## 5. Рабочие формулы и исходные данные:

- $p = m \cdot v$  - импульс тела
- $\delta_p = \frac{p_{1x} + p_{2x}}{p_{10x}} - 1$  - относительное изменение импульса системы при соударении
- $\delta_W = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1$  - относительное изменение кинетической энергии системы при соударении
- $\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta p_i}{N}$  - среднее значение относительного изменения импульса или энергии
- $\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{доб}}, N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta p_i - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}}$  - погрешность среднего значения
- $\delta_p = \frac{p_1}{p_{10}} - 1$  - относительное изменение импульса
- $\delta_W^{(\text{э})} = \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{m_1 v_{10}^2} - 1$  - экспериментальное значение относительного изменения механической энергии

- $\delta_W^{(T)} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2}$  - теоретическое значение относительного изменения механической энергии
- $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)}$  - ускорение тележки
- $T = m(g - a)$  - сила натяжения нити

## 6. Измерительные приборы:

Таблица 1. 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	Лабораторные весы	250 г	0,01 г	-	0,01 г
3	ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9,99 м/с	0,01 м/с	-	0,01 м/с

## 7. Схема установки:

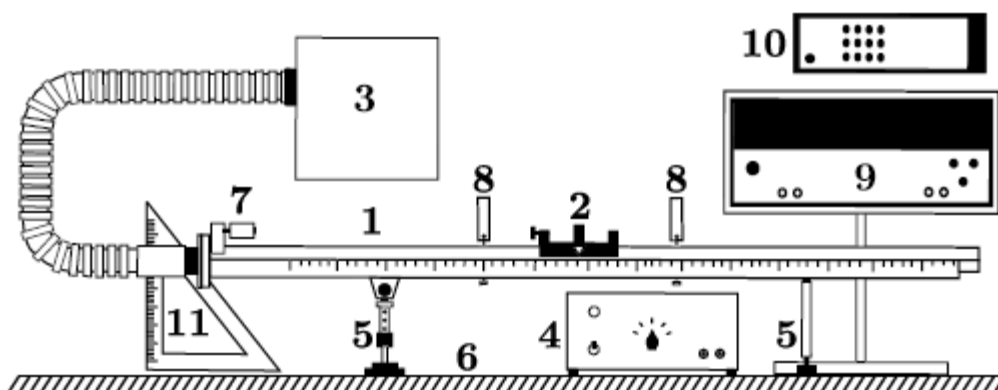


Рисунок 1. Схема установки

- 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:

Таблица 1.1. Результаты измерений скорости двух легких тележек (упругое)

№	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10x}$ , м/с	$v_{1x}$ , м/с	$v_{2x}$ , м/с
1	50	49	0,53	0,08	0,35
2			0,53	0,09	0,36
3			0,53	0,09	0,35
4			0,53	0,08	0,36
5			0,53	0,09	0,35

Таблица 1.2. Результаты измерений скорости легкой и утяжеленной тележек (упругое)

№	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10x}$ , м/с	$v_{1x}$ , м/с	$v_{2x}$ , м/с
1	50	97	0,52	-0,06	0,26
2			0,51	-0,08	0,27
3			0,50	-0,06	0,26
4			0,51	-0,07	0,26
5			0,50	-0,06	0,27

Таблица 2.1. Результаты измерений скорости двух легких тележек (неупругое)

№	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v$ , м/с
1	52	51	0,56	0,20
2			0,55	0,21
3			0,56	0,19
4			0,55	0,19
5			0,54	0,18

Таблица 2.2. Результаты измерений скорости легкой и утяжеленной тележек (неупругое)

№	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v$ , м/с
1	52	99	0,55	0,12
2			0,56	0,10
3			0,55	0,10
4			0,55	0,11
5			0,54	0,10

*Таблица 3.1. Результаты измерений скорости легкой тележки при ее разгоне под действием постоянной силы*

$M = 49 \text{ г}$				
№	Состав гирьки	$m, \text{ г}$	$v_1, \text{ м/с}$	$v_2, \text{ м/с}$
1	подвеска	2	0,26	0,62
2	подвеска + 1 шайба	3	0,31	0,72
3	подвеска + 2 шайбы	3	0,33	0,83
4	подвеска + 3 шайбы	4	0,35	0,95
5	подвеска + 4 шайбы	5	0,38	1,06
6	подвеска + 5 шайб	6	0,40	1,12
7	подвеска + 6 шайб	6	0,41	1,14

*Таблица 3.2. Результаты измерений скорости утяжеленной тележки при ее разгоне под действием постоянной силы*

$M = 100 \text{ г}$				
№	Состав гирьки	$m, \text{ г}$	$v_1, \text{ м/с}$	$v_2, \text{ м/с}$
1	подвеска	2	0,21	0,48
2	подвеска + 1 шайба	3	0,25	0,57
3	подвеска + 2 шайбы	3	0,29	0,65
4	подвеска + 3 шайбы	4	0,32	0,73
5	подвеска + 4 шайбы	5	0,35	0,77
6	подвеска + 5 шайб	6	0,37	0,81
7	подвеска + 6 шайб	6	0,39	0,85

## 9. Расчет результатов косвенных измерений:

Таблица 4.1. Результаты расчетов импульса и потери энергии в опыте №1

№	$p_{10x}$ , МН · с	$p_{1x}$ , МН · с	$p_{2x}$ , МН · с	$\delta_p$	$\delta_W$
1	26,5	4,0	17,15	-0,2	-0,55
2	26,5	4,5	17,64	-0,16	-0,52
3	26,5	4,5	17,15	-0,18	-0,54
4	26,5	4,0	17,64	-0,18	-0,53
5	26,5	4,5	17,15	-0,18	-0,54
$\bar{\delta} =$				-0,18	-0,54
$\Delta\bar{\delta} =$				0,018	0,014

Среднее значение относительного изменения импульса:

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{p_i}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(p_{1x_i} + p_{2x_i})}{p_{10x_i}} - 1 \right) = -0,18 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Среднее значение относительного изменения кинетической энергии:

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{w_i}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{m_1 v_{1x_i}^2 + m_2 v_{2x_i}^2}{m_1 v_{10x_i}^2} - 1 \right) = -0,54 \text{ Дж}$$

Таблица 4.2. Результаты расчетов импульса и потери энергии в опыте №2

№	$p_{10x}$ , МН · с	$p_{1x}$ , МН · с	$p_{2x}$ , МН · с	$\delta_p$	$\delta_W$
1	26,0	-3	25,22	-0,15	-0,5
2	25,5	-4	26,19	-0,13	-0,43
3	25,0	-3	25,22	-0,11	-0,46
4	25,5	-3,5	25,22	-0,15	-0,48
5	25,0	-3	26,19	-0,07	-0,42
$\bar{\delta} =$				-0,12	-0,46
$\Delta\bar{\delta} =$				0,04	0,04

Таблица 5.1. Результаты расчетов импульса и потери энергии в опыте №3

№	$p_{10}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$p, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W^{(\text{Э})}$	$\delta_W^{(\text{T})}$
1	29,12	20,6	-0,29	-0,75	-0,5
2	28,6	21,63	-0,24	-0,71	
3	29,12	19,57	-0,33	-0,77	
4	28,6	19,57	-0,32	-0,76	
5	28,08	18,54	-0,34	-0,78	
$\bar{\delta} =$			-0,30	-0,75	
$\Delta\bar{\delta} =$			0,023	0,034	

Среднее значение относительного изменения импульса:

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{p_i}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(p_{1x_i} + p_{2x_i})}{p_{10x_i}} - 1 \right) = -0,30 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Среднее значение относительного изменения кинетической энергии:

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{w_i}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{m_1 v_{1x_i}^2 + m_2 v_{2x_i}^2}{m_1 v_{10x_i}^2} - 1 \right) = -0,75 \text{ Дж}$$

Теоретическое значение относительного изменения механической энергии:

$$\bar{\delta}_W^{(\text{T})} = -\frac{W_p}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} = -0,5$$

Таблица 5.2. Результаты расчетов импульса и потери энергии в опыте №4

№	$p_{10}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$p, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W^{(\text{Э})}$	$\delta_W^{(\text{T})}$
1	28,6	18,12	-0,37	-0,86	-0,66
2	29,12	15,1	-0,48	-0,91	
3	28,6	15,1	-0,47	-0,90	
4	28,6	16,61	-0,42	-0,88	
5	28,08	15,1	-0,46	-0,9	
$\bar{\delta} =$			-0,44	-0,89	
$\Delta\bar{\delta} =$			0,057	0,025	

Таблица 6.1. Результаты расчетов ускорения и силы натяжения нити в опыте №5

№	$m$ , г	$a, \frac{m}{c^2}$	$T$ , мН
1	2	0,24	19,16
2	3	0,32	28,5
3	3	0,45	28,11
4	4	0,6	36,88
5	5	0,75	45,35
6	6	0,84	53,88
7	6	0,87	53,7

Ускорение  $a$  тележки и сила  $T$  натяжения нити для  $m = 2$  г (для остальных аналогично):

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)} = \frac{0,62^2 - 0,26^2}{2(0,800 - 0,150)} = 0,24 \frac{m}{c^2}$$

$$T = m(g - a) = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (9,82 - 0,24) = 19,16 \text{ мН}$$

Таблица 6.2. Результаты расчетов ускорения и силы натяжения нити в опыте №6

№	$m$ , г	$a, \frac{m}{c^2}$	$T$ , мН
1	2	0,14	19,36
2	3	0,2	28,86
3	3	0,26	28,68
4	4	0,33	37,96
5	5	0,36	47,3
6	6	0,4	56,52
7	6	0,44	56,28



## 10. Расчет погрешностей измерений:

Погрешность средних значений для импульса и кинетической энергии на примере опыта №1 (для остальных аналогично):

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 2,78 \cdot \sqrt{\frac{(-0,2+0,18)^2 + (-0,16+0,18)^2 + 3 \cdot (-0,18+0,18)^2}{5 \cdot (5-1)}} = 2,78 \cdot$$

$$\sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4}}{20}} = 2,78 \cdot \sqrt{\frac{4}{5}} \cdot 10^{-2} = 0,018$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}} = 2,78 \cdot \sqrt{\frac{(-0,55+0,54)^2 + (-0,52+0,54)^2 + (-0,53+0,54)^2 + 2 \cdot (-0,54+0,54)^2}{5 \cdot (5-1)}} =$$

$$2,78 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4}}{20}} = 2,78 \cdot \sqrt{\frac{3}{5}} \cdot 10^{-2} = 0,014$$

## 11. Графики:

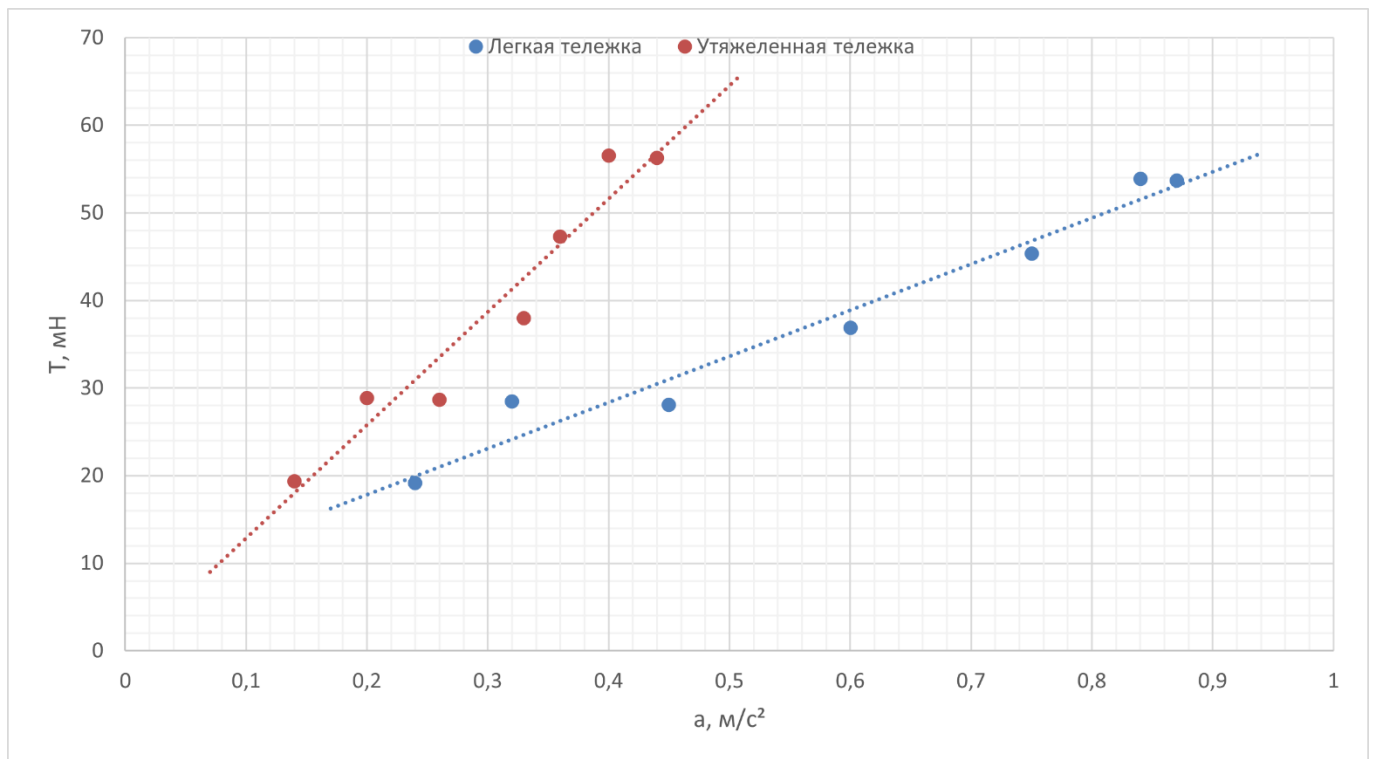


Рисунок 2. График зависимости силы натяжения нити от ускорения

## 12. Окончательные результаты:

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении двух легких тележек:

$$\bar{\delta}_p = -0,180 \pm 0,018$$

$$\bar{\delta}_W = -0,540 \pm 0,014$$

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении легкой тележки с утяжеленной:

$$\bar{\delta}_p = -0,12 \pm 0,04$$

$$\bar{\delta}_W = -0,46 \pm 0,04$$

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении двух легких тележек:

$$\bar{\delta}_p = -0,300 \pm 0,023$$

$$\bar{\delta}_W = -0,750 \pm 0,034$$

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении легкой тележки с утяжеленной:

$$\bar{\delta}_p = -0,44 \pm 0,06$$

$$\bar{\delta}_W = -0,890 \pm 0,025$$

Теоретические значения относительного изменения энергии  $\delta_W^{(T)}$  при неупругом соударении двух легких тележек:

$$\delta_W^{(T)} = -0,50$$

Теоретические значения относительного изменения энергии  $\delta_W^{(T)}$  при неупругом соударении легкой тележки с утяжеленной:

$$\delta_W^{(T)} = -0,66$$

Доверительный интервал для массы легкой тележки, найденный из экспериментальной зависимости силы натяжения от ускорения тележки:

$$M = 53 \pm 9 \text{ г}$$

Доверительный интервал для массы утяжеленной тележки, найденный из экспериментальной зависимости силы натяжения от ускорения тележки:

$$M = 130 \pm 30 \text{ г}$$

### **13. Выводы и анализ результатов работы:**

В ходе работы были исследованы законы сохранения импульса и энергии при соударениях, а также проверен второй закон Ньютона. Полученные экспериментальные данные в общем и целом близки к теоретическим значениям, за исключением потерь энергии при неупругом соударении, где расхождения довольно заметные. Скорее всего, это могли произойти из-за человеческого фактора в процессе замеров и вычислений. Массы тележек, определенные из экспериментов, в основном же совпадают с прямыми измерениями с учетом доверительного интервала.