



---

**РАБОЧИЙ ПРОТОКОЛ И ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1.03**  
**"Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона"**

---

Группа: 2.1  
Студент: Денисова А.А., Пименова Е.А.,  
Шнейдерис Г.Г.  
Преподаватель: Рудель А.Е.

К работе допущен:  
Работа выполнена:  
Отчет принят:

## 1 Цель работы

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

## 2 Задачи, решаемые при выполнении работы

- Измерение скоростей тележек до и после соударения.
- Измерение скорости тележки при ее разгоне под действием постоянной силы.
- Исследование потерь импульса и механической энергии при упругом и неупругом соударении двух тележек.
- Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки. Проверка второго закона Ньютона

## 3 Метод экспериментального исследования

Замер таких величин как масса и скорость тележек

## 4 Рабочие формулы и исходные данные

### 4.1 Формулы для составления зависимости $Y = \alpha Z$ (расчёт перемещения и полуразности квадратов значений времени):

1) Импульсы тележек до и после столкновения

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

2) Относительное изменение импульса системы при соударении

$$\delta_p = \frac{\Delta p_x}{p_{10x}} = \left( \frac{p_{1x} + p_{2x}}{p_{10x}} \right) - 1,$$

3) Относительные изменение кинетической энергии системы при соударении

$$\delta W = \frac{\Delta W_k}{W_{k0}} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1.$$

4) Средние значения относительных изменений импульса и энергии

$$\bar{\delta}_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{pi}; \quad \bar{\delta}W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta W_i.$$

5) Погрешности средних значений относительных изменений импульса и энергии

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

$$\Delta \bar{W} = t_{\alpha, \text{доп}, N} \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\delta W_i - \bar{\delta}W)^2},$$

6) Экспериментальное значение относительного изменения механической энергии

$$\delta_W^{(E)} = \frac{\Delta W_k / W_{k0}}{(m_1 + m_2) v_2^2 / m_1 v_{10}^2} - 1,$$

7) Теоретическое значение относительного изменения механической энергии

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

8) Ускорение  $a$  тележки и сила  $T$  натяжения нити

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

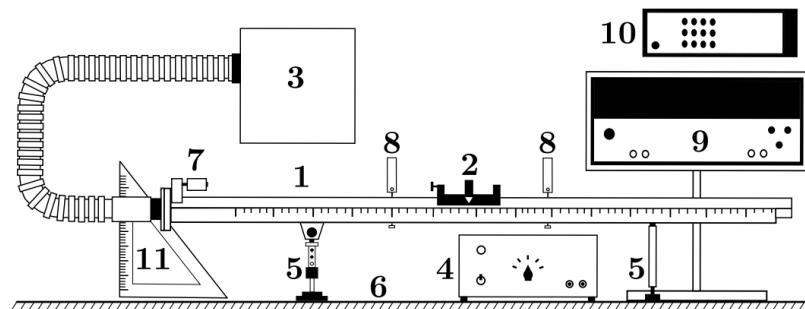
## 5 Измерительные приборы:

№	Наименование	Предел измерений	Цена деления	$\Delta_{\text{и}}$
1	Линейка на рельсе	1,3 м	1 см/дел	5 мм
2	ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9.99 м/с	0,01 м/с	0,01 мс
3	Лабораторные весы	250 г	0,01 г	0,01 г

Таблица 1: Измерительные приборы

## 6 Схема установки:

### Экспериментальная установка



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

## 7 Результаты прямых измерений и их обработки:

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	50.9	47.2	0.31	0.41	0
2			0.49	0.41	0
3			0.51	0.46	0
4			0.39	0.42	0
5			0.50	0.45	0

Таблица 2: результаты измерений 1-го опыта

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	50.9	98.4	0.47	-0.12	0
2			0.24	-0.53	0
3			0.34	-0.75	0.16
4			0.50	-0.07	0
5			0.48	-0.10	0.14

Таблица 3: результаты измерений 2-го опыта

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	53.9	49.4	0.49	0.30
2			0.48	0.30
3			0.49	0.15
4			0.47	0.31
5			0.49	0.33

Таблица 4: результаты измерений 3-го опыта

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v_1$ , м/с
1	50.9	47.2	0.31	0.41
2			0.49	0.41
3			0.51	0.46
4			0.39	0.42
5			0.50	0.45

Таблица 5: результаты измерений 4-го опыта

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v_1$ , м/с
1	50.9	98.4	0.47	-0.12
2			0.24	-0.53
3			0.34	-0.75
4			0.50	-0.07
5			0.48	-0.10

Таблица 6: результаты измерений 5-го опыта

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с
1	53.9	49.4	0.49
2			0.48
3			0.49
4			0.47
5			0.49

Таблица 7: результаты измерений 6-го опыта

## 8 Расчёт результатов косвенных измерений

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

№ опыта	$m_1$ (г)	$m_2$ (г)	$v_{10}$ (м/с)	$v_1$ (м/с)	$v_2$ (м/с)	$p_{10x}$ (г м/с)	$p_{1x}$ (г м/с)	$p_{2x}$ (г м/с)
1	50.9	47.2	0.31	0.41	0	15.78	20.87	0
2	50.9	47.2	0.49	0.41	0	24.94	20.87	0
3	50.9	47.2	0.51	0.46	0	25.96	23.41	0
4	50.9	47.2	0.39	0.42	0	19.85	21.38	0
5	50.9	47.2	0.50	0.45	0	25.45	22.91	0

Таблица 8: Результаты измерения импульсов тел для таблицы 2.

### Расчёт относительных изменений импульса и энергии

$$\delta p = \frac{\Delta p_x}{p_{10x}} = \frac{p_{1x} + p_{2x}}{p_{10x}} - 1$$

$$\delta W = \frac{\Delta W_k}{W_{k0}} = \frac{m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2}{m_1 \cdot v_{10}^2} - 1$$

№ опыта	$\delta p$	$\delta W$
1	0.32	0.75
2	-0.16	0.76
3	-0.10	0.58
4	0.08	0.13
5	-0.10	0.34

Таблица 9: Относительные изменения импульса и кинетической энергии для таблицы 2.

### Пример расчётов

$$p_{10x} = 50.9 \cdot 0.31 = 15.78 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$p_{1x} = 50.9 \cdot 0.41 = 20.87 \text{ г} \cdot \text{м/с}, \quad p_{2x} = 47.2 \cdot 0 = 0 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$\delta p = \frac{20.87 + 0}{15.78} - 1 = 0.32$$

$$\delta W = \frac{50.9 \cdot 0.41^2 + 47.2 \cdot 0^2}{50.9 \cdot 0.31^2} - 1 = 0.75$$

№ опыта	$m_1$ (г)	$m_2$ (г)	$v_{10}$ (м/с)	$v_1$ (м/с)	$v_2$ (м/с)	$p_{10x}$ (г м/с)	$p_{1x}$ (г м/с)	$p_{2x}$ (г м/с)
1	50.9	98.4	0.47	-0.12	0	23.92	-6.11	0
2	50.9	98.4	0.24	-0.53	0	12.22	-26.98	0
3	50.9	98.4	0.34	-0.75	0.16	17.31	-38.18	15.74
4	50.9	98.4	0.50	-0.07	0	25.45	-3.56	0
5	50.9	98.4	0.48	-0.10	0.14	24.43	-5.09	13.78

Таблица 10: Результаты измерения импульсов тел для таблицы 3.

### Расчёт относительных изменений импульса и энергии

#### Пример расчётов

$$p_{10x} = 50.9 \cdot 0.47 = 23.92 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$p_{1x} = 50.9 \cdot (-0.12) = -6.11 \text{ г} \cdot \text{м/с}, \quad p_{2x} = 98.4 \cdot 0 = 0 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$\delta p = \frac{-6.11 + 0}{23.92} - 1 = -0.26$$

$$\delta W = \frac{50.9 \cdot (-0.12)^2 + 98.4 \cdot 0^2}{50.9 \cdot 0.47^2} - 1 = -0.36$$

№ опыта	$\delta p$	$\delta W$
1	-0.26	-0.36
2	-2.21	-3.65
3	-1.30	-1.19
4	-0.14	0.03
5	-0.24	0.28

Таблица 11: Относительные изменения импульса и кинетической энергии для таблицы 3.

№ опыта	$m_1$ (г)	$m_2$ (г)	$v_{10}$ (м/с)	$v_2$ (м/с)
1	53.9	49.4	0.49	0.30
2	53.9	49.4	0.48	0.30
3	53.9	49.4	0.49	0.15
4	53.9	49.4	0.47	0.31
5	53.9	49.4	0.49	0.33

Таблица 12: Результаты измерения скоростей для таблицы 4.

### Пример расчётов

$$p_{10x} = 53.9 \cdot 0.49 = 26.41 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$p_{2x} = 49.4 \cdot 0.30 = 14.82 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$\delta p = \frac{26.41 - 14.82}{26.41} - 1 = 0.44$$

$$\delta W = \frac{53.9 \cdot 0.30^2 + 49.4 \cdot 0.49^2}{53.9 \cdot 0.49^2} - 1 = 0.21$$

№ опыта	$m_1$ (г)	$m_2$ (г)	$v_{10}$ (м/с)	$v$ (м/с)
1	53.0	101.3	0.49	0
2	53.0	101.3	0.50	0
3	53.0	101.3	0.49	0
4	53.0	101.3	0.48	0
5	53.0	101.3	0.49	0

Таблица 13: Результаты измерения скоростей для таблицы 5.

### Пример расчётов

$$p_{10x} = 53.0 \cdot 0.49 = 25.97 \text{ г} \cdot \text{м/с}$$

$$\delta p = \frac{0}{25.97} - 1 = -1$$

$$\delta W = \frac{0}{53.0 \cdot 0.49^2} - 1 = -1$$

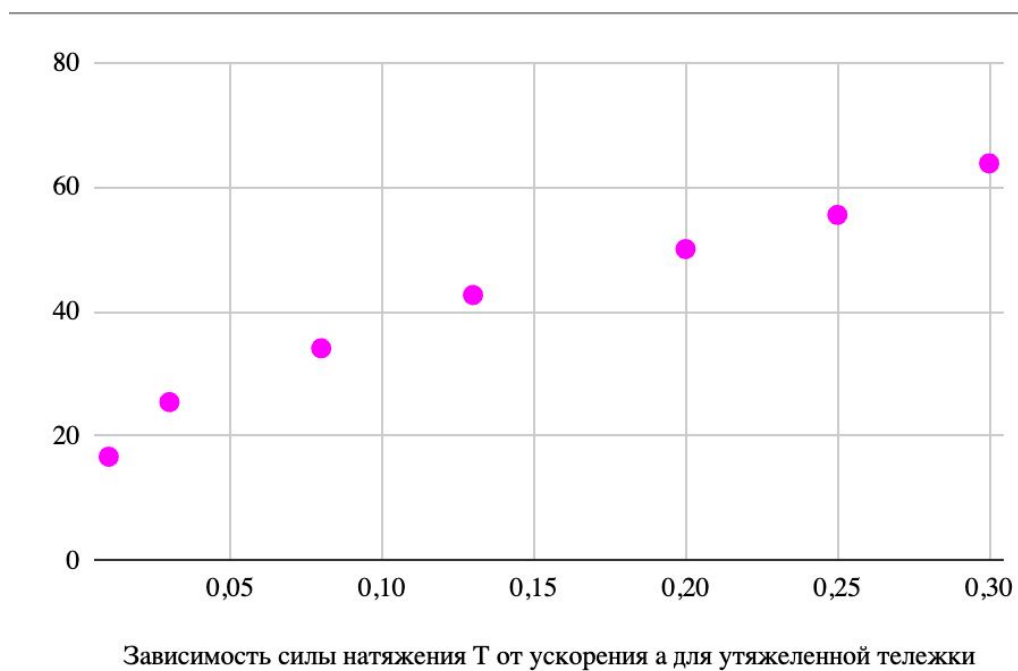
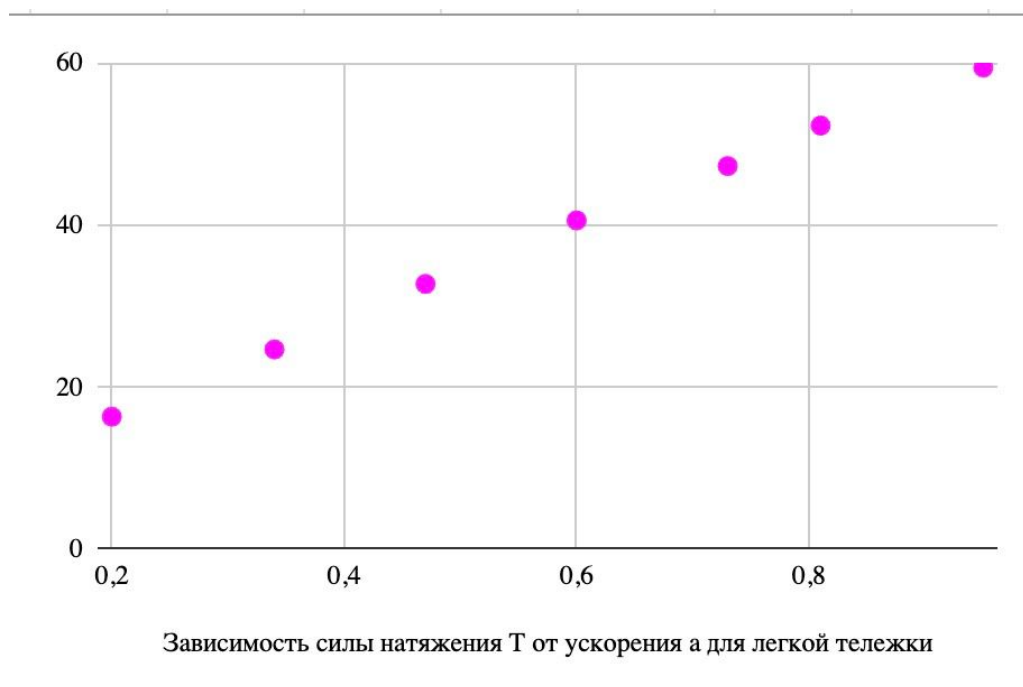
№ опыта	Состав гирьки	$m$ (г)	$v_1$ (м/с)	$v_2$ (м/с)
1	Подвеска	1.7	0.25	0.57
2	Подвеска + 1 шайба	2.6	0.37	0.76
3	Подвеска + 2 шайбы	3.5	0.38	0.87
4	Подвеска + 3 шайбы	4.4	0.38	0.96
5	Подвеска + 4 шайбы	5.2	0.47	1.08
6	Подвеска + 5 шайб	5.8	0.50	1.14
7	Подвеска + 6 шайб	6.7	0.48	1.21

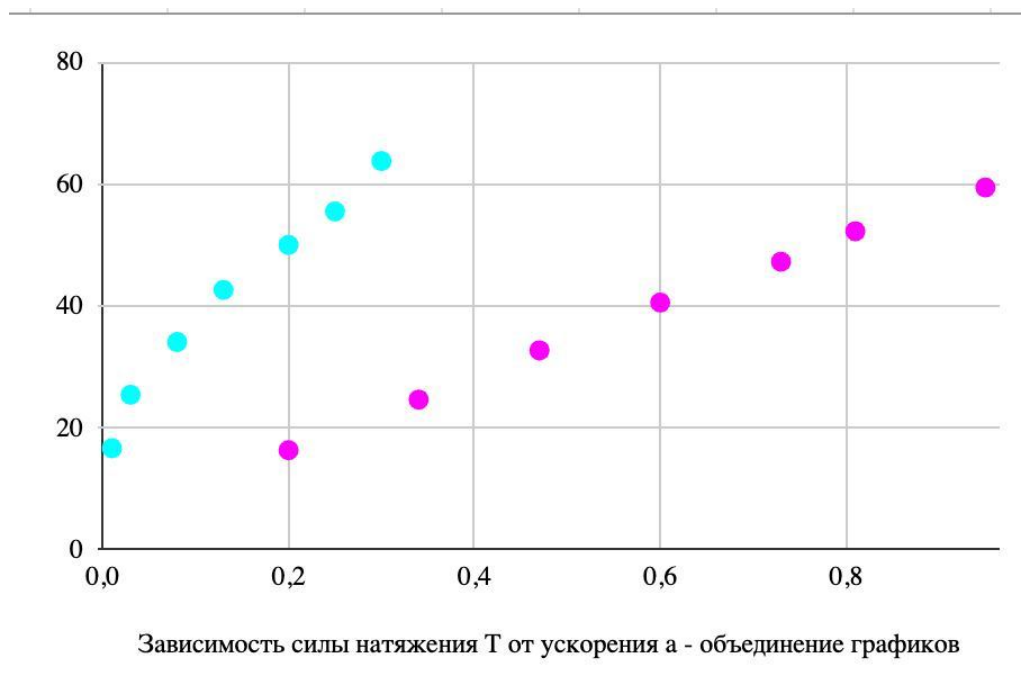
Таблица 14: Измерение скоростей для таблицы 6.

№ опыта	Состав гирьки	$m$ (г)	$v_1$ (м/с)	$v_2$ (м/с)
1	Подвеска	1.7	0.08	0.13
2	Подвеска + 1 пайба	2.6	0.10	0.23
3	Подвеска + 2 пайбы	3.5	0.17	0.37
4	Подвеска + 3 пайбы	4.4	0.25	0.48
5	Подвеска + 4 пайбы	5.2	0.33	0.61
6	Подвеска + 5 пайб	5.8	0.35	0.67
7	Подвеска + 6 пайб	6.7	0.39	0.74

Таблица 15: Измерение скоростей для таблицы 7.

## 9 Графики





## 10 Окончательные результаты:

$$\bar{\delta}_p 1 = 0,008 \pm 0,24$$

$$\bar{\delta}_w 1 = -0,046 \pm 0,53$$

$$\bar{\delta}_p 2 = -1,71 \pm 1,08$$

$$\bar{\delta}_w 2 = 1,27 \pm 3,40$$

$$\bar{\delta}_p 3 = 0,102 \pm 0,68$$

$$\bar{\delta}_w 3 = -0,33 \pm 0,35$$

$$\bar{\delta}_p 4 = -1 \pm 0$$

$$\bar{\delta}_w 4 = -1 \pm 0$$

$$\delta_W^{(T)} 3 = -0,48$$

$$\delta_W^{(T)} 4 = -0,65$$

## 11 Выводы и анализ результатов работы

В результате выполнения лабораторной работы было исследовано центральное соударение двух тел — упругое и неупругое. В *задании 1* мы измерили скорости тележек до и после соударений, а также определили изменения импульса и кинетической энергии в каждом случае. Результаты показали, что при упругом соударении суммарный импульс сохраняется с минимальными потерями, а при неупругом — происходят более значительные потери энергии. В *задании 2* мы проверили зависимость ускорения тележки от приложенной силы, что подтвердило второй закон Ньютона. Ошибки измерений оказались незначительными, что подтверждает корректность измеренных данных.