

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики**

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ

Группа <u>P3213</u>	К работе допущен _____.
Студент <u>Султанов Артур Радикович</u>	Работа выполнена _____.
Преподаватель <u>Хвастунов Н.Н.</u>	Отчет принят _____.

Отчет по лабораторной работе №1.03

Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона
Ньютона

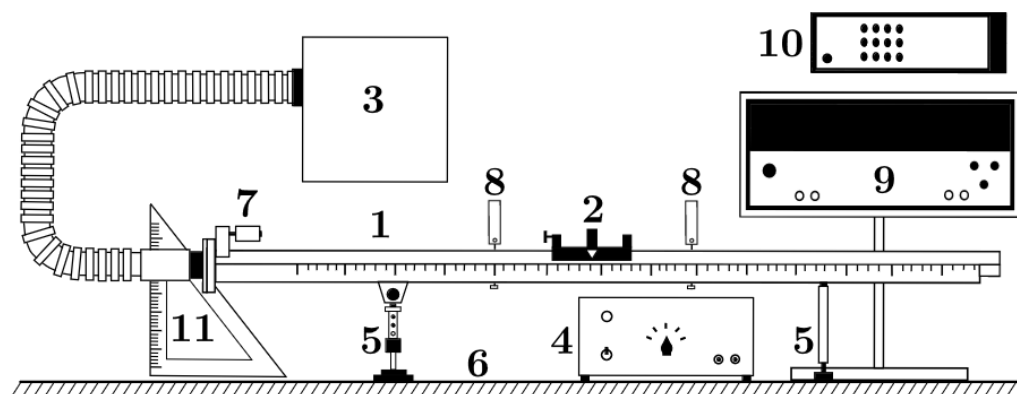
1. Цели работы

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

2. 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. Схема установки



1. Рельс с сантиметровой шкалой на лицевой стороне
2. Сталкивающиеся тележки
3. Воздушный насос
4. Источник питания насоса
5. Опоры рельса
6. Опорная плоскость (поверхность стола)
7. Фиксирующий электромагнит
8. Оптические ворота
9. Цифровой измерительный прибор
10. Пульт дистанционного управления прибором

4. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Лабораторные весы	Для измерения веса	0-100 г	0.01 г
2	Цифровой измерительный прибор в режиме измерения скорости	Для измерения скорости	0-10 м/с	0.01 м/с
3	Линейка на рельсе	Для измерения расстояния	0-1.3 м	0.5 см

5. Результаты измерений

Таблица 1: Таблица 1.1

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50,9	47,1	0,41	0,32	0,37
2			0,40	0,38	0,37
3			0,40	0,36	0,37
4			0,41	0,37	0,35
5			0,41	0,37	0,38

Таблица 2: Таблица 1.2

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50,9	96,1	0,40	-0,18	0,23
2			0,41	-0,09	0,23
3			0,40	-0,15	0,23
4			0,41	-0,06	0,25
5			0,40	-0,06	0,24

Таблица 3: Таблица 2.1

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	54,1	50,1	0,38	0,17
2			0,38	0,18
3			0,38	0,15
4			0,36	0,16
5			0,38	0,17

Таблица 4: Таблица 2.2

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	54,1	99,2	0,37	0,11
2			0,39	0,13
3			0,39	0,13
4			0,38	0,11
5			0,38	0,13

Таблица 5: Таблица 3.1. Разгоняемое тело – тележка 1. $M_1 = 46,2$ г

№ опыта	Состав гирьки	m , г	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1	подвеска	7	0,24	0,58
2	подвеска + одна шайба	7	0,32	0,74
3	подвеска + две шайбы	7	0,37	0,86
4	подвеска + три шайбы	8	0,43	0,97
5	подвеска + четыре шайбы	9	0,48	1,08
6	подвеска + пять шайб	10	0,52	1,18
7	подвеска + шесть шайб	11	0,55	1,26

Таблица 6: Таблица 3.2. Разгоняемое тело – тележка 1 с утяжелителем. $M_1 = 95,0$ г

№ опыта	Состав гирьки	m , г	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1	подвеска	7	0,15	0,33

2	подвеска + одна шайба	7	0,20	0,50
3	подвеска + две шайбы	7	0,26	0,60
4	подвеска + три шайбы	8	0,30	0,70
5	подвеска + четыре шайбы	9	0,34	0,79
6	подвеска + пять шайб	10	0,36	0,85
7	подвеска + шесть шайб	11	0,39	0,91

6. Расчет результатов косвенных измерений

Таблица 7: Таблица 4.1

№ опыта	$p_{10x}, \text{ мН*с}$	$p_{1x}, \text{ мН*с}$	$p_{2x}, \text{ мН*с}$	δ_p	δ_w
1	20,87	16,29	17,43	0,62	0,36
2	20,36	19,34	17,43	0,81	0,69
3	20,36	18,32	17,43	0,76	0,60
4	20,87	18,83	16,49	0,69	0,49
5	20,87	18,83	17,90	0,76	0,61

Расчеты для опыта №1 (таблица 7):

$$p_{10x} = m_1 * v_{10x} = 50,9 * 0,41 = 20,87$$

$$p_{1x} = m_1 * v_{1s} = 50,9 * 0,32 = 16,29$$

$$p_{2x} = m_2 * v_{2s} = 47,1 * 0,37 = 17,43$$

$$\delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = (p_{1x} + p_{2x}) / p_{10x} - 1 = (16,29 + 17,43) / 20,87 - 1 = 0,62$$

$$\delta_w = \Delta W_k / W_{k0} = (m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2) / (m_1 v_{10x}^2) - 1 =$$

$$= (50,9 * 0,32^2 + 47,1 * 0,37^2) / (50,9 * 0,41^2) - 1 = 0,36$$

Средние значения относительных изменений импульса и энергии:

$$\overline{\delta_p} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = 0,73$$

$$\overline{\delta_w} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N} = 0,55$$

Погрешности этих значений:

$$\Delta \overline{\delta_p} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \overline{\delta_p})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,033 = 0,09162$$

$$\Delta \overline{\delta_w} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{wi} - \overline{\delta_w})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,057 = 0,15926$$

Таблица 8: Таблица 4.2

№ опыта	p_{10x} , мН*с	p_{1x} , мН*с	p_{2x} , мН*с	δ_p	δ_w
1	20,36	-9,16	22,10	-0,36	-0,17
2	20,87	-4,58	22,10	-0,16	-0,36
3	20,36	-7,64	22,10	-0,29	-0,24
4	20,87	-3,05	24,03	0,00	-0,28
5	20,36	-3,05	23,06	-0,02	-0,30

Расчеты для опыта №1 (таблица 8):

$$p_{10x} = m_1 * v_{10x} = 50,9 * 0,40 = 20,36$$

$$p_{1x} = m_1 * v_{1s} = 50,9 * (-0,18) = -9,16$$

$$p_{2x} = m_2 * v_{2s} = 96,1 * 0,23 = 22,10$$

$$\delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = (p_{1x} + p_{2x}) / p_{10x} - 1 = (-9,16 + 22,10) / 20,36 - 1 = -0,36$$

$$\delta_w = \Delta W_k / W_{k0} = (m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2) / (m_1 v_{10x}^2) - 1 =$$

$$= (50,9 * (-0,18)^2 + 96,1 * 0,23^2) / (50,9 * 0,40^2) - 1 = -0,17$$

Средние значения относительных изменений импульса и энергии:

$$\overline{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,17$$

$$\overline{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N} = -0,27$$

Погрешности этих значений:

$$\Delta \overline{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \overline{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,073 = 0,20209$$

$$\Delta \overline{\delta}_w = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{wi} - \overline{\delta}_w)^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,03087 = 0,08570$$

Таблица 9: Таблица 5.1

№ опыта	p_{10} , мН·с	p , мН·с	δ_p	$\delta_w^{(\text{Э})}$	$\delta_w^{(\text{T})}$
1	20,56	17,71	-0,14	-0,61	-0,48
2	20,56	18,76	-0,09	-0,57	
3	20,56	15,63	-0,24	-0,70	
4	19,48	16,67	-0,14	-0,62	
5	20,56	17,71	-0,14	-0,61	

Расчет для опыта 1 (таблица 9):

$$p_{10} = m_1 v_{10} = 54,1 * 0,38 = 20,56$$

$$p = (m_1 + m_2)v = (54,1 + 50,1) * 0,17 = 17,71$$

$$\delta_p = \Delta p / p_{10} = p_1 / p_{10} - 1 = 17,71 / 20,56 - 1 = -0,14$$

$$\delta_w^{(\text{Э})} = \Delta W_k / W_{k0} = ((m_1 + m_2)v_2^2) / (m_1 v_{10}^2) - 1 =$$

$$= ((54,1 + 50,1) * 0,17^2) / (54,1 * 0,38^2) - 1 = -0,61$$

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

$$= -54,1 / (54,1 + 50,1) = -0,48$$

Средние значения относительных изменений импульса и энергии:

$$\overline{\delta_p} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,15$$

$$\overline{\delta_w^{(\Theta)}} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}^{(\Theta)}}{N} = -0,62$$

Погрешности этих значений:

$$\Delta \overline{\delta_p} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \overline{\delta_p})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,02474 = 0,06869$$

$$\Delta \overline{\delta_w^{(\Theta)}} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{wi}^{(\Theta)} - \overline{\delta_w^{(\Theta)}})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,02134 = 0,05926$$

Таблица 10: Таблица 5.2

№ опыта	p_{10} , мН·с	p , мН·с	δ_p	$\delta_w^{(\Theta)}$	$\delta_w^{(T)}$
1	20,02	16,86	-0,16	-0,75	-0,65
2	21,10	19,93	-0,06	-0,69	
3	21,10	19,93	-0,06	-0,69	
4	20,56	16,86	-0,18	-0,76	
5	20,56	19,93	-0,03	-0,67	

Расчет для опыта 1 (таблица 10):

$$p_{10} = m_1 v_{10} = 54,1 * 0,37 = 20,02$$

$$p = (m_1 + m_2)v = (54,1 + 99,2) * 0,11 = 16,86$$

$$\delta_p = \Delta p / p_{10} = p_1 / p_{10} - 1 = 16,86 / 20,02 - 1 = -0,16$$

$$\delta_w^{(\Theta)} = \Delta W_k / W_{k0} = ((m_1 + m_2)v_2^2) / (m_1 v_{10}^2) - 1 =$$

$$= ((54,1 + 99,2) * 0,11^2) / (54,1 * 0,37^2) - 1 = -0,75$$

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

$$= -54,1 / (54,1 + 99,2) = -0,65$$

Средние значения относительных изменений импульса и энергии:

$$\overline{\delta_p} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,10$$

$$\overline{\delta_W} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}^{(\Theta)}}{N} = -0,71$$

Погрешности этих значений:

$$\Delta \overline{\delta_p} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \overline{\delta_p})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,04054 = 0,11255$$

$$\Delta \overline{\delta_W} = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi}^{(\Theta)} - \overline{\delta_W^{(\Theta)}})^2}{N(N-1)}} = 2,776445 * 0,04746 = 0,13176$$

Таблица 11: Таблица 6.1

№ опыта	m , г	a , м/с ²	T , мН
1	7	0,21	67,24
2	7	0,34	66,34
3	7	0,46	65,49
4	8	0,58	73,91
5	9	0,72	81,90
6	10	0,86	89,57
7	11	0,99	97,15

Расчеты для опыта 1 (таблица 11)

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)} = \frac{0,58^2 - 0,24^2}{2(0,800 - 0,150)} = 0,21$$

$$T = m(g - a) = 7 * (9,82 - 0,21) = 67,24$$

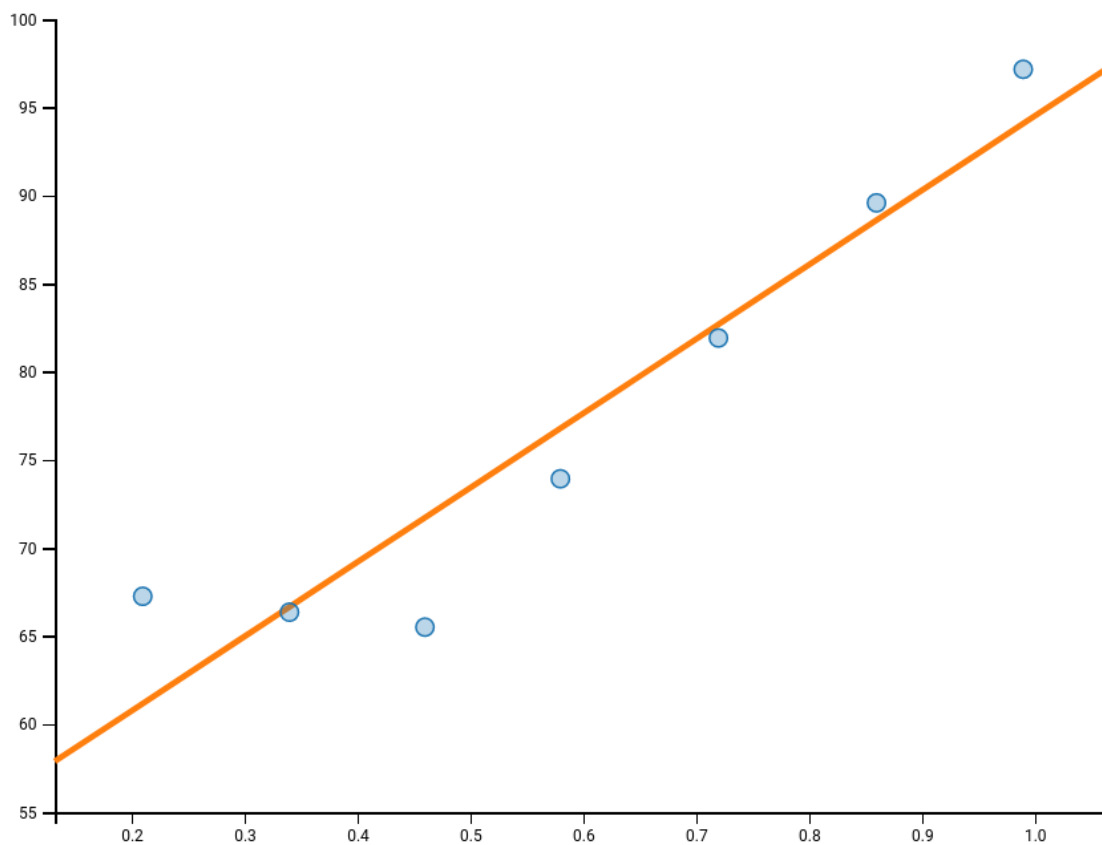


График 1. График зависимости T от a (для таблицы 6.1)

$$y = ax + b$$

$$y = 42.1916x + 52.2975$$

$$M_1 = 42.1916$$

$$F_{\text{тр}} = 52.2975$$

Таблица 12: Таблица 6.2

№ опыта	m , г	a , м/с ²	T , мН
1	7	0,07	68,27
2	7	0,16	67,61

3	7	0,22	67,17
4	8	0,31	76,10
5	9	0,39	84,86
6	10	0,46	93,64
7	11	0,52	102,30

Расчеты для опыта 1 (таблица 11)

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)} = \frac{0,33^2 - 0,15^2}{2(0,800 - 0,150)} = 0,07$$

$$T = m(g - a) = 7 * (9,82 - 0,07) = 68,27$$

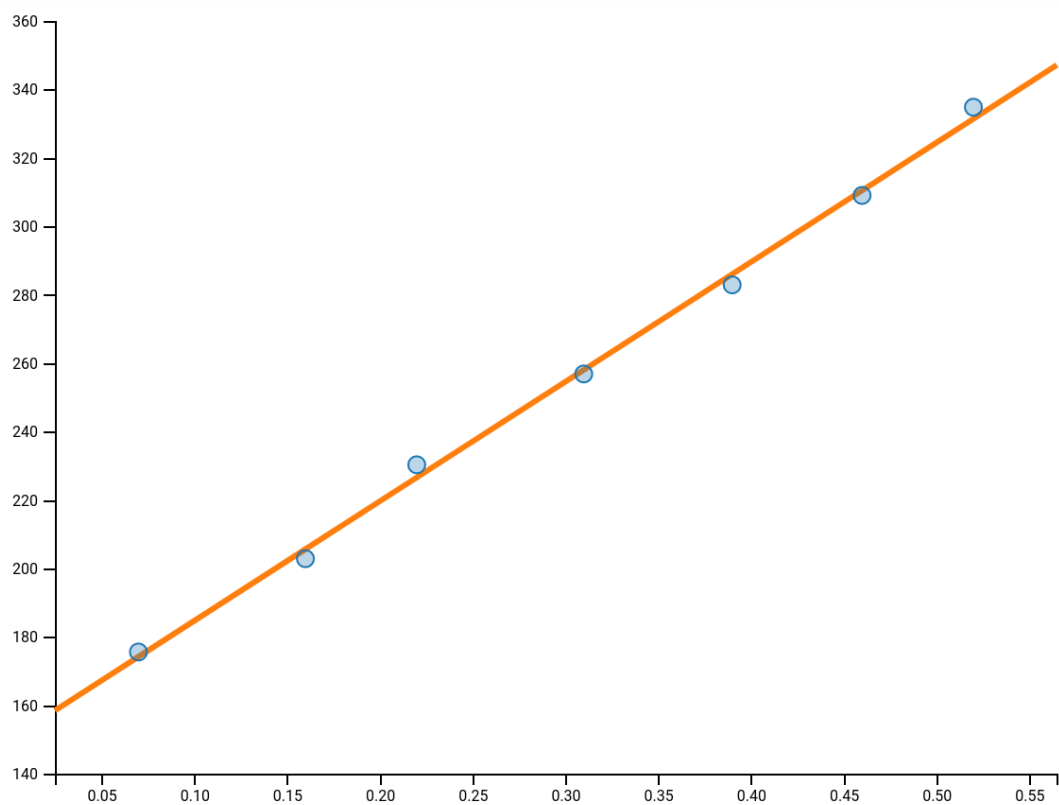


График 2. График зависимости T от a (для таблицы 6.2)

$$y = ax + b$$

$$y = 80,4237x + 55,5211$$

$$M_1 = 80,4237$$

$$F_{\text{тр}} = 55,5211$$

8. Результаты

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

$$\overline{\Delta\delta_p} = 2,776445 * 0,033 = 0,09162$$

$$\overline{\Delta\delta_w} = 2,776445 * 0,057 = 0,15926$$

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

$$\overline{\Delta\delta_p} = 2,776445 * 0,073 = 0,20209$$

$$\overline{\Delta\delta_w} = 2,776445 * 0,03087 = 0,08570$$

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

$$\overline{\Delta\delta_p} = 2,776445 * 0,02474 = 0,06869$$

$$\overline{\Delta\delta_w} = 2,776445 * 0,02134 = 0,05926$$

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

$$\overline{\Delta\delta_p} = 2,776445 * 0,04054 = 0,11255$$

$$\overline{\Delta\delta_w} = 2,776445 * 0,04746 = 0,13176$$

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

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

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

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

9. Выводы

В рамках лабораторной работы были проведены измерения скорости тележек до/после удара, при различных условиях. После, на основе обработанных результатов были построены графики зависимости силы натяжения от ускорения тележки. Аппроксимированные графики (график 1, график 2) обладают свойством линейности, на основании чего

выявляется линейная зависимость силы натяжения от ускорения тела. Таким образом, на практическом примере проверен второй закон Ньютона.