



Группа Р3131 К работе допущен _____

Студент Зубахин Д. С. Работа выполнена _____

Преподаватель Нурьев Р. К. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.03

Изучение центрального соударения двух тел.

Проверка второго закона Ньютона

1. Цель работы.

1.1. Исследование упругого и неупругого центрального соударения тел на примере тележек, движущихся с малым трением.

1.2. Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

2.1. Исследование потерь импульса.

2.2. Исследование зависимости ускорения тележки от силы и массы тележки.

3. Объект исследования.

Тележки.

4. Метод экспериментального исследования.

4.1. Измерение величин.

4.2. Многократные повторения.

5. Измерительные приборы.

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность
Линейка на рельсе	1,30 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

6. Рабочие формулы и исходные данные.

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

$$\delta_W = \Delta W_K / W_{K0} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1$$

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

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

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

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

$$\delta_W^{(0)} = \Delta W_K / W_{K0} = \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{m_1 v_{10}^2} - 1$$

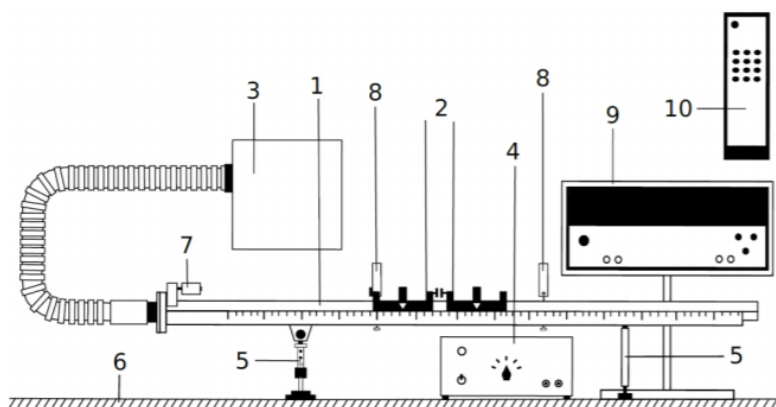
$$\delta_W^{(r)} = - \frac{W_{\text{пот}}}{m_1 v_{10}^2} = - \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

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

$$T = m(g - a)$$

$$T = Ma + F_{\text{тр}}$$

7. 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(таблицы, примеры расчетов).

Таблица 1.1

№ Опыта	m ₁ , г	m ₂ , г	V _{10x} , м/с	V _{1x} , м/с	V _{2x} , м/с
1	53,3	50,5	0,82	-0,09	0,66
2			0,82	-0,13	0,65
3			0,81	-0,17	0,64
4			0,81	-0,10	0,65
5			0,81	-0,07	0,66

Таблица 2.1

№ Опыта	m ₁ , г	m ₂ , г	V ₁₀ , м/с	V, м/с
1	56,5	53,9	0,91	0,33
2			0,95	0,26
3			0,91	0,25
4			0,91	0,26
5			0,91	0,24

Таблица 1.2

№ Опыта	m ₁ , г	m ₂ , г	V _{10x} , м/с	V _{1x} , м/с	V _{2x} , м/с
1	104,5	50,5	0,63	-0,27	0,67
2			0,61	-0,11	0,61
3			0,61	-0,16	0,59
4			0,62	-0,21	0,59
5			0,61	-0,17	0,62

Таблица 2.2

№ Опыта	m ₁ , г	m ₂ , г	V ₁₀ , м/с	V, м/с
1	107,9	53,9	0,61	0,15
2			0,61	0,23
3			0,60	0,28
4			0,61	0,24
5			0,60	0,18

Таблица 3.1. Разгоняемое тело – тележка 1. M1 = 49,7

№ Опыта	Состав гирьки	m, г	V ₁ , м/с	V ₂ , м/с
1	Подвеска	2,1	0,21	0,50
2	Подвеска+1ш	3,0	0,28	0,65
3	Подвеска+2ш	3,8	0,32	0,75
4	Подвеска+3ш	4,7	0,36	0,84
5	Подвеска+4ш	5,6	0,39	0,91
6	Подвеска+5ш	6,4	0,43	1,00
7	Подвеска+6ш	7,2	0,46	1,06

Таблица 3.2. Разгоняемое тело – тележка 1. M1 = 100,8

№ Опыта	Состав гирьки	m, г	V ₁ , м/с	V ₂ , м/с
1	Подвеска	2,1	0,15	0,35
2	Подвеска+1ш	3,0	0,18	0,42
3	Подвеска+2ш	3,8	0,23	0,53
4	Подвеска+3ш	4,7	0,24	0,55
5	Подвеска+4ш	5,6	0,27	0,62
6	Подвеска+5ш	6,4	0,30	0,70
7	Подвеска+6ш	7,2	0,31	0,72

9. Результаты косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

9.1. По данным таблицы 1.1 рассчитать и занести в таблицу 4.1 импульсы тел:

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

Таблица 4.1

№ опыта	p_{10x} , мН*с	p_{1x} , мН*с	p_{2x} , мН*с	δ_p	δ_W
1	43,71	-4,8	33,33	-0,35	-0,37
2	43,71	-6,93	32,82	-0,41	-0,38
3	43,17	-9,06	32,32	-0,47	-0,36
4	43,17	-5,33	32,82	-0,36	-0,37
5	43,17	-3,73	33,33	-0,32	-0,36

$$p_{10x} = 53,3 \text{ г} * 0,82 \text{ м/с} = 43,706 \approx 43,71 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p_{1x} = 53,3 \text{ г} * (-0,09) \text{ м/с} = -4,797 \approx -4,8 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p_{2x} = 50,5 \text{ г} * 0,66 \text{ м/с} = 33,33 \text{ мН} * \text{с}$$

9.2. Вычислить для каждой строки 4.1 относительные изменения импульса и кинетической энергии системы при соударении по формулам:

$$\delta_W = \Delta W_K / W_{K0} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1 \quad \delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1$$

$$\delta_W = \frac{53,3 * (-0,09)^2 + 50,5 * (0,66)^2}{53,3 * (0,82)^2} - 1 = -0,37$$

$$\delta_p = \frac{(-4,8 + 33,33)}{43,71} = -0,35$$

Рассчитать средние значения, относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы 4.1:

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

$$\bar{\delta}_p = \frac{(-0,35) + (-0,41) + (-0,47) + (-0,36) + (-0,32)}{5} = -0,38$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{(-0,37) + (-0,38) + (-0,36) + (-0,37) + (-0,36)}{5} = -0,37$$

По разбросу отдельных значений, найти погрешности их средних значений:

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

$$\begin{aligned} \overline{\Delta\delta_w} &= 2,78 \\ & * \sqrt{\frac{(-0,37 + 0,37)^2 + (-0,38 + 0,37)^2 + (-0,36 + 0,37)^2 + (-0,37 + 0,37)^2 + (-0,36 + 0,37)^2}{20}} \\ &\approx 0,073 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{\Delta\delta_p} &= 2,78 \\ & * \sqrt{\frac{(-0,35 + 0,38)^2 + (-0,41 + 0,38)^2 + (-0,47 + 0,38)^2 + (-0,36 + 0,38)^2 + (-0,32 + 0,38)^2}{20}} \\ &\approx 0,073 \end{aligned}$$

9.3. По данным таблицы 1.2 рассчитать и занести в таблицу 4.2 импульсы тел:

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

Таблица 4.2

№ опыта	p_{10x} , мН*с	p_{1x} , мН*с	p_{2x} , мН*с	δ_p	δ_w
1	65,84	-28,22	33,84	-0,91	-0,0006
2	63,74	-11,5	30,81	-0,70	-0,18
3	63,74	-16,72	29,80	-0,80	-0,16
4	64,79	-21,94	29,80	-0,88	-0,14
5	63,74	-17,76	31,31	-0,79	-0,12

$$p_{10x} = 104,5 \text{ г} * 0,63 \text{ м/с} = 65,84 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p_{1x} = 104,5 \text{ г} * (-0,27) \text{ м/с} = -28,22 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p_{2x} = 50,5 \text{ г} * 0,67 \text{ м/с} = 33,84 \text{ мН} * \text{с}$$

9.4. Вычислить для каждой строки 4.2 относительные изменения импульса и кинетической энергии системы при соударении по формулам:

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

$$\delta_w = \frac{104,5 * (-0,27)^2 + 50,5 * (0,67)^2}{104,5 * (0,63)^2} - 1 = -0,0006$$

$$\delta_p = \frac{(-28,22 + 33,84)}{65,84} - 1 = -0,91$$

Рассчитать средние значения, относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы 4.2:

$$\overline{\delta_p} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{pi}}{N}; \quad \overline{\delta_w} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{wi}}{N}$$

$$\overline{\delta_p} = \frac{(-0,91) + (-0,70) + (-0,80) + (-0,88) + (-0,79)}{5} = -0,82$$

$$\overline{\delta_w} = \frac{(-0,0006) + (-0,18) + (-0,16) + (-0,14) + (-0,12)}{5} = -0,12$$

По разбросу отдельных значений, найти погрешности их средних значений:

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

$$\Delta \bar{\delta}_W = 2,78 * \sqrt{\frac{(0,12 - 0,0006)^2 + 0,06^2 + 0,04^2 + 0,02^2}{20}} \approx 0,088$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = 2,78 * \sqrt{\frac{0,09^2 + 0,12^2 + 0,02^2 + 0,06^2 + 0,03^2}{20}} \approx 0,10$$

9.5. По данным из таблицы 2.1 заполнить следующую таблицу.

Таблица 5.1

№ опыта	p ₁₀ , мН*с	p, мН*с	δ _p	δ _W ^(э)	δ _W ^(Т)
1	51,42	36,42	-0,30	-0,74	-0,49
2	50,85	28,7	-0,44	-0,84	
3	51,42	27,6	-0,46	-0,85	
4	51,42	28,7	-0,44	-0,84	
5	51,42	26,5	-0,48	-0,86	

$$p_{10} = 56,5 \text{ г} * 0,91 \text{ м/с} = 51,42 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p = (56,5 \text{ г} + 53,9 \text{ г}) * 0,33 \text{ м/с} = 36,42 \text{ мН} * \text{с}$$

$$\delta_p = \frac{36,42}{51,42} - 1 = -0,3$$

$$\delta_W^{(э)} = \frac{(56,5 + 53,9) * 0,33^2}{56,5 * 0,91^2} - 1 = -0,74$$

$$\delta_W^{(Т)} = -\frac{53,9}{56,5 + 53,9} - 1 = -0,49$$

Вычислить средние значения $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_W^{(э)}$, их погрешности и записать доверительные интервалы для δ_p и $\delta_W^{(э)}$.

$$\bar{\delta}_p = -0,42$$

$$\bar{\delta}_W^{(э)} = -0,83$$

$$\Delta \bar{\delta}_p = 2,78 * \sqrt{\frac{0,12^2 + 0,02^2 + 0,02^2 + 0,04^2 + 0,02^2}{20}} \approx 0,082$$

$$\Delta \bar{\delta}_W^{(э)} = 2,78 * \sqrt{\frac{0,09^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + 0,03^2}{20}} \approx 0,061$$

9.6. Выполнить вычисления пункта **9.5** для данных из таблицы 2.2 , заполнив таблицу 5.2, подобную таблице 5.1.

Таблица 5.2

№ опыта	$p_{10},$ мН*с	$p,$ мН*с	δ_p	$\delta_w^{(э)}$	$\delta_w^{(T)}$
1	65,82	24,27	-0,63	-0,91	-0,33
2	65,82	37,21	-0,43	-0,79	
3	64,74	45,3	-0,30	-0,67	
4	65,82	38,8	-0,41	-0,77	
5	64,74	29,12	-0,55	-0,86	

$$p_{10} = 107,9 \text{ г} * 0,61 \text{ м/с} = 65,82 \text{ мН} * \text{с}$$

$$p = (107,9 \text{ г} + 53,9 \text{ г}) * 0,15 \text{ м/с} = 24,27 \text{ мН} * \text{с}$$

$$\delta_p = \frac{24,27}{65,82} - 1 = -0,63$$

$$\delta_w^{(э)} = \frac{161,8 * 0,15^2}{107,9 * 0,61^2} - 1 = -0,91$$

$$\delta_w^{(T)} = -\frac{53,9}{107,9 + 53,9} - 1 = -0,33$$

Вычислить средние значения $\overline{\delta_p}$, $\overline{\delta_w^{(э)}}$, их погрешности и записать доверительные интервалы для δ_p и $\delta_w^{(э)}$.

$$\overline{\delta_p} = -0,46$$

$$\overline{\delta_w^{(э)}} = -0,80$$

$$\Delta \overline{\delta_p} = 0,16$$

$$\Delta \overline{\delta_w^{(э)}} = 0,11$$

9.7. Используя значения координат оптических ворот (1 х = 0,150 м, 2 х = 0,800 м) и данные из таблицы 3.1, вычислить и записать в таблицу 6.1 ускорение а тележки и силу Т натяжения нити:

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

№ опыта	$m, \text{ г}$	$a, \text{ м/с}^2$	$T, \text{ мН}$
1	2,1	0,16	20,29
2	3	0,26	28,68
3	3,8	0,35	36
4	4,7	0,44	44
5	5,6	0,52	52
6	6,4	0,63	58,82
7	7,2	0,7	65,66

$$a = \frac{0,5^2 - 0,21^2}{2(0,8 - 0,15)} \approx 0,16$$

$$T = 2,1 * (0,82 - 0,16) \approx 20,29$$

$$\overline{a} = 0,44$$

$$\overline{T} = 43,64$$

$$b = 83,83$$

$$a = 6,75$$

$$d1 = 20,29 - (6,75 + 83,83 * 0,44)$$

$$d2 = 0,13$$

$$d3 = -0,09$$

$$d4 = 0,36$$

$$d5 = 1,66$$

$$d6 = -0,74$$

$$d7 = 0,23$$

$$D = 0,23$$

$$S_D^2 = 3,05$$

$$S_a^2 = 0,73$$

$$\Delta M = \sqrt{4 * 0,73 + 4 * 0,7^2 * 3,05} \approx 3$$

$$F_{mp} = 6,75 \text{ H}$$

9.8. Используя значения координат оптических ворот (1 х = 0,150 м, 2 х = 0,800 м) и данные из таблицы 3.2, вычислить и записать в таблицу 6.2 ускорение а тележки и силу Т натяжения нити:

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

№ опыта	m, г	a, м/с ²	T, мН
1	2,1	0,077	20,46
2	3	0,11	29,13
3	3,8	0,18	36,63
4	4,7	0,19	45,26
5	5,6	0,24	53,65
6	6,4	0,31	60,86
7	7,2	0,32	68,4

$$a = \frac{0,5^2 - 0,21^2}{2(0,8 - 0,15)} \approx 0,16$$

$$T = 2,1 * (0,82 - 0,16) \approx 20,29$$

$$\overline{a} = 0,44$$

$$\overline{T} = 43,64$$

$$b = 83,83$$

$$a = 6,75$$

$$d1 = 20,29 - (6,75 + 83,83 * 0,44)$$

$$d2 = 0,13$$

$$d3 = -0,09$$

$$d4 = 0,36$$

$$d5 = 1,66$$

$$d6 = -0,74$$

$$d7 = 0,23$$

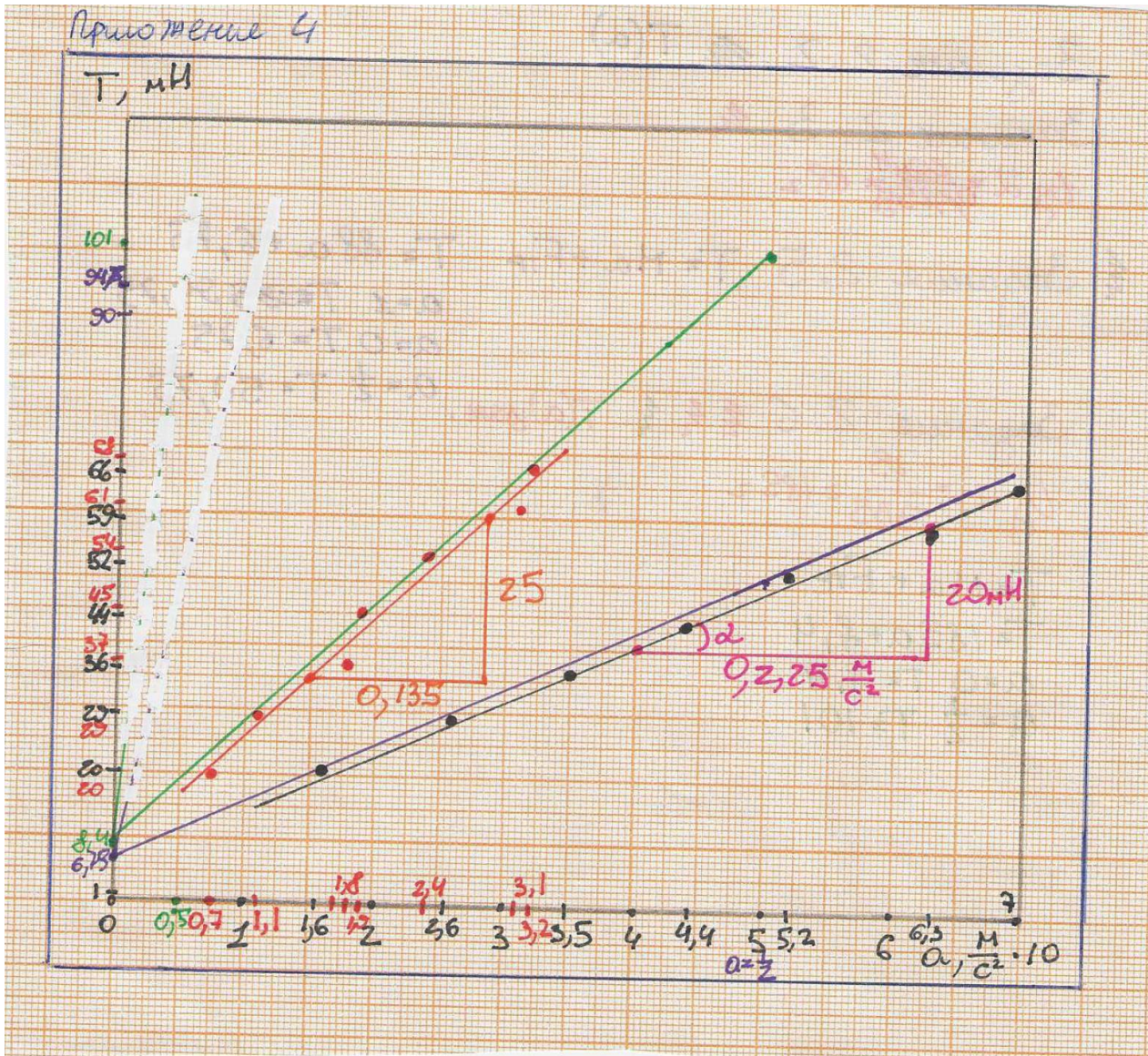
$$D = 0,23$$

$$S_D^2 = 3,05$$

$$S_a^2 = 0,73$$

$$\Delta M = \sqrt{4 * 0,73 + 4 * 0,7^2 * 3,05} \approx 3$$

$$F_{\text{тр}} = 8,4 \text{ Н}$$



$$Tga = \frac{20}{0,225} = 88 \text{ г}$$

$$Tga = \frac{25}{0,135} = 185 \text{ г}$$

Вывод: В результате выполнения лабораторной работы был подтвержден закон сохранения импульса. Помимо этого, было рассчитано изменение энергии тележек как исходя из первоначальных данных, так и из эксперимента. Теоретические расчёты попали в подтвержденные доверительные интервалы экспериментального значения.

Помимо этого, был проверен второй закон Ньютона. Также был построен график $T=T(a)$.