

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНО ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
ITMO University**

**Лабораторная работа 1.03 по теме «Изучение центрального
соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона»**

По дисциплине
Физика

Выполнили:

Стафеев И.А. (К3121)
Голованов Д. И. (К3123)
Данилов Н. О. (К3121)

Поток: ОФ-1 ИКТ 1.2.1

Проверила
Рудель А. Е.

Санкт-Петербург,
2024

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение	3
1.1	Цели работы	3
1.2	Задачи	3
1.3	Объект исследования	3
1.4	Рабочие формулы и исходные данные	3
1.5	Измерительные приборы	5
1.6	Схема установки	6
2	Задание 1	7
3	Задание 2	10
4	Окончательные результаты	12
4.1	Погрешности и доверительные интервалы	12
4.2	Графики	13
5	Выводы и анализ результатов работы	14
6	Ответы на контрольные вопросы	15

1 Введение

1.1 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.

1.2 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.;

1.3 Объект исследования

Импульс и механическая энергия при соударении двух тел

1.4 Рабочие формулы и исходные данные

1. Импульсы тел в системе

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

2. Относительное изменение импульса

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

3. Относительное изменение кинетической энергии

$$\delta_W = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1 \quad (3)$$

4. Средние значения изменения импульса и кинетической энергии

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N}; \delta_W^- = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} \quad (4)$$

5. Погрешность среднего значения изменения импульса

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N \cdot (N - 1)}} \quad (5)$$

6. Погрешность среднего значения изменения энергии

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N \cdot (N - 1)}} \quad (6)$$

7. Экспериментальное значение относительного изменения механической энергии

$$\delta_W^{()} = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{(m_1 + m_2) v_2^2}{m_1 v_{10}^2} - 1 \quad (7)$$

8. Теоретическое значение относительного изменения механической энергии

$$\delta_W^{(T)} = -\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

9. Ускорение тележки и сила натяжения нити

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)}, T = m(g - a) \quad (9)$$

10. Зависимость силы натяжения от ускорения

$$T = Ma + F_{\text{тр}} \quad (10)$$

Исходные данные: $N = 5$, $g = 9.82 \text{ м/с}^2$, $\alpha = 0.95$, $t_{\alpha,N} = 2.7764451051977987$

Начальные параметры установки:

1. Положение левых оптических ворот в задании 1 - $x = 0.3 \text{ м}$; правых ворот - $x' = 0.7 \text{ м}$

2. Положение левых оптических ворот в задании 2 - $x_1 = 0.15 \text{ м}$; правых ворот - $x_2 = 0.8 \text{ м}$

1.5 Измерительные приборы

Таблица 1 — Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Предел измерения	Цена деления	Погрешность прибора $\Delta_{ит}$
1	Линейка на рельсе	1.3 м	1 см/дел	5 мм
2	ПКЦ-3 в ре- жиме измере- ния скорости	9.99 м/с	0.01 м/с	0.01 м/с
3	Лабораторные весы	250 г	0.01 г	0.01 г

1.6 Схема установки

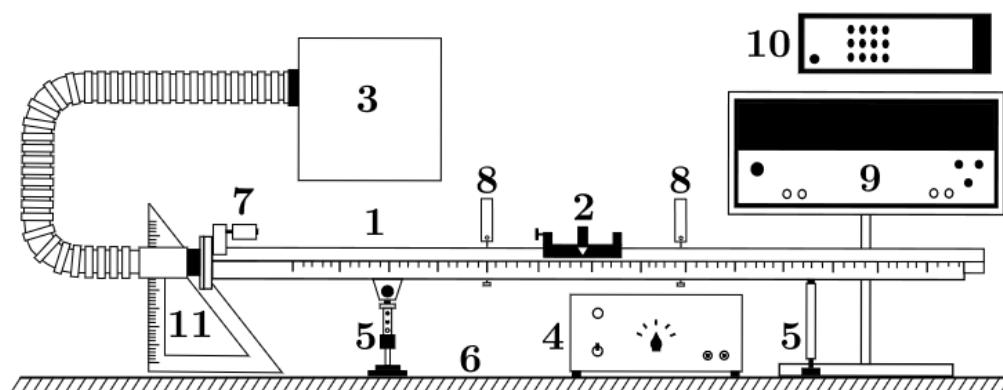


Рисунок 1 — Схема установки для проведения измерений

Числами на схеме обозначены:

1. Рельс с сантиметровой шкалой, по которому движется тележка;
2. Сталкивающиеся тележки;
3. Воздушный насос, уменьшающий трение между тележкой и рельсом;
4. Источник питания насоса ВС 4-12;
5. Опоры рельса, регулирующие высоты рельса;
6. Опорная плоскость;
7. Электромагнит, фиксирующий тележку в начальном положении;
8. Оптические ворота;
9. Цифровой измерительный прибор ПКЦ-3, фиксирующий момент времени, скорость и ускорение тележки при прохождении оптических ворот;
10. Пульт дистанционного управления прибором ПКЦ-3;

2 Задание 1

Таблица 2 — Значения скоростей при упругом соударении тележек одинаковой массы

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50.93	47.95	0.47	0.05	0.46
2	50.93	47.95	0.47	0.05	0.45
3	50.93	47.95	0.46	0.05	0.45
4	50.93	47.95	0.45	0.05	0.43
5	50.93	47.95	0.46	0.05	0.45

Таблица 3 — Значения скоростей при упругом соударении тележек разной массы

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10x} , м/с	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с
1	50.93	98.62	0.47	-0.14	0.16
2	50.93	98.62	0.46	-0.12	0.11
3	50.93	98.62	0.45	-0.12	0.13
4	50.93	98.62	0.46	-0.11	0.11
5	50.93	98.62	0.45	-0.12	0.15

Таблица 4 — Значения скоростей при неупругом соударении тележек одинаковой массы

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	53.96	50.89	0.43	0.15
2	53.96	50.89	0.41	0.12
3	53.96	50.89	0.42	0.15
4	53.96	50.89	0.35	0.07
5	53.96	50.89	0.35	0.08

Таблица 5 — Значения скоростей при неупругом соударении тележек разной массы

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	53.96	101.57	0.46	0.07
2	53.96	101.57	0.45	0.07
3	53.96	101.57	0.46	0.07
4	53.96	101.57	0.45	0.07
5	53.96	101.57	0.45	0.07

Таблица 6 — Косвенные измерения при упругом соударении тележек одинаковой массы

№ опыта	p_{10x} , мН·с	p_{1x} , мН·с	p_{2x} , нМ·с	δ_p	δ_W
1	24	3	22	0.028	-0.087
2	24	3	22	0.008	-0.126
3	23	3	22	0.030	-0.087
4	23	3	21	0.011	-0.128
5	23	3	22	0.030	-0.087

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = 0.021$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0.103$$

По формуле 5 $\Delta \bar{\delta}_p = 0.014$

По формуле 6 $\Delta \bar{\delta}_W = 0.027$

Таблица 7 — Косвенные измерения при упругом соударении тележек разной массы

№ опыта	p_{10x} , мН·с	p_{1x} , мН·с	p_{2x} , нМ·с	δ_p	δ_W
1	24	-7	16	-0.64	-0.69
2	23	-6	11	-0.80	-0.82
3	23	-6	13	-0.71	-0.77
4	23	-6	11	-0.78	-0.83
5	23	-6	15	-0.62	-0.71

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0.71$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0.76$$

По формуле 5 $\Delta \bar{\delta}_p = 0.10$

По формуле 6 $\Delta \bar{\delta}_W = 0.08$

Таблица 8 — Косвенные измерения при неупругом соударении тележек одинаковой массы

№ опыта	$p_{10}, \text{ мН}\cdot\text{с}$	$p, \text{ мН}\cdot\text{с}$	δ_p	$\delta_W^{(\Theta)}$	$\delta_W^{(\text{T})}$
1	23	16	-0.322	-0.76	-0.49
2	22	13	-0.430	-0.83	-0.49
3	23	16	-0.306	-0.75	-0.49
4	19	10	-0.610	-0.92	-0.49
5	19	10	-0.560	-0.90	-0.49

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0.45$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0.83$$

По формуле 5 $\Delta \bar{\delta}_p = 0.17$

По формуле 6 $\Delta \bar{\delta}_W = 0.10$

Таблица 9 — Косвенные измерения при неупругом соударении тележек разной массы

№ опыта	$p_{10}, \text{ мН}\cdot\text{с}$	$p, \text{ мН}\cdot\text{с}$	δ_p	$\delta_W^{(\Theta)}$	$\delta_W^{(\text{T})}$
1	25	11	-0.56	-0.93	-0.65
2	24	11	-0.55	-0.93	-0.65
3	25	11	-0.56	-0.93	-0.65
4	24	11	-0.55	-0.93	-0.65
5	24	11	-0.55	-0.93	-0.65

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0.55$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0.93$$

По формуле 5 $\Delta \bar{\delta}_p = 0.01$

По формуле 6 $\Delta \bar{\delta}_W = 0.01$

3 Задание 2

Таблица 10 — Разгоняемое тело - тележка 1. $M_1 = 49.3$ г

№ опыта	Количество шайб	m , г	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1	0	2.1	0.21	0.29
2	1	3.0	0.25	0.39
3	2	3.8	0.34	0.46
4	3	4.7	0.39	0.52
5	4	5.6	0.43	0.58
6	5	6.4	0.47	0.63
7	6	7.3	0.50	0.67

Таблица 11 — Разгоняемое тело - тележка 1 с утяжелителем. $M_1 = 100.3$ г

№ опыта	Количество шайб	m , г	v_1 , м/с	v_2 , м/с
1	0	2.1	0.12	0.18
2	1	3.0	0.18	0.25
3	2	3.8	0.24	0.33
4	3	4.7	0.25	0.35
5	4	5.6	0.29	0.40
6	5	6.4	0.32	0.44
7	6	7.3	0.35	0.48

Таблица 12 — Косвенные измерения при исследовании зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки

№ опыта	m , г	a , м/с ²	T , мН
1	2.1	0.031	21
2	3.0	0.069	29
3	3.8	0.074	37
4	4.7	0.091	46
5	5.6	0.117	54
6	6.4	0.135	62
7	7.3	0.153	71

По МНК $M_1 = 420.8$ г, $\Delta_{M_1} = 2S_{M_1} = 67.5$ г

Таблица 13 — Косвенные измерения при исследовании зависимости ускорения тележки с утяжелителем от приложенной силы и массы тележки

№ опыта	m , г	a , м/с ²	T , мН
1	2.1	0.014	21
2	3.0	0.023	29
3	3.8	0.039	37
4	4.7	0.046	46
5	5.6	0.058	55
6	6.4	0.070	62
7	7.3	0.083	71

По МНК $M_1 = 729.5$ г, $\Delta_{M_1} = 2S_{M_1} = 66.9$ г

4 Окончательные результаты

4.1 Погрешности и доверительные интервалы

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении

1. $\delta_p = (0.021 \pm 0.014)$; $\varepsilon_{\delta_p} = 66\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W = (-0.103 \pm 0.027)$; $\varepsilon_{\delta_W} = 26\%$; $\alpha = 0.95$
2. $\delta_p = (-0.71 \pm 0.010)$; $\varepsilon_{\delta_p} = 14\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W = (-0.76 \pm 0.08)$; $\varepsilon_{\delta_W} = 10\%$; $\alpha = 0.95$

Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении

1. $\delta_p = (-0.45 \pm 0.17)$; $\varepsilon_{\delta_p} = 38\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W^{(\Theta)} = (-0.83 \pm 0.10)$; $\varepsilon_{\delta_W} = 12\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W^{(T)} = -0.49$
2. $\delta_p = (-0.55 \pm 0.01)$; $\varepsilon_{\delta_p} = 2\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W^{(\Theta)} = (-0.93 \pm 0.01)$; $\varepsilon_{\delta_W} = 1\%$; $\alpha = 0.95$
 $\delta_W^{(T)} = -0.65$

Доверительные интервалы массы тележки

1. $M_1 = (420.8 \pm 67.5)$ г; $\varepsilon_{M_1} = 16\%$; $\alpha = 0.95$
2. $M_1 = (729.5 \pm 66.9)$ г; $\varepsilon_{M_1} = 9\%$; $\alpha = 0.95$

4.2 Графики

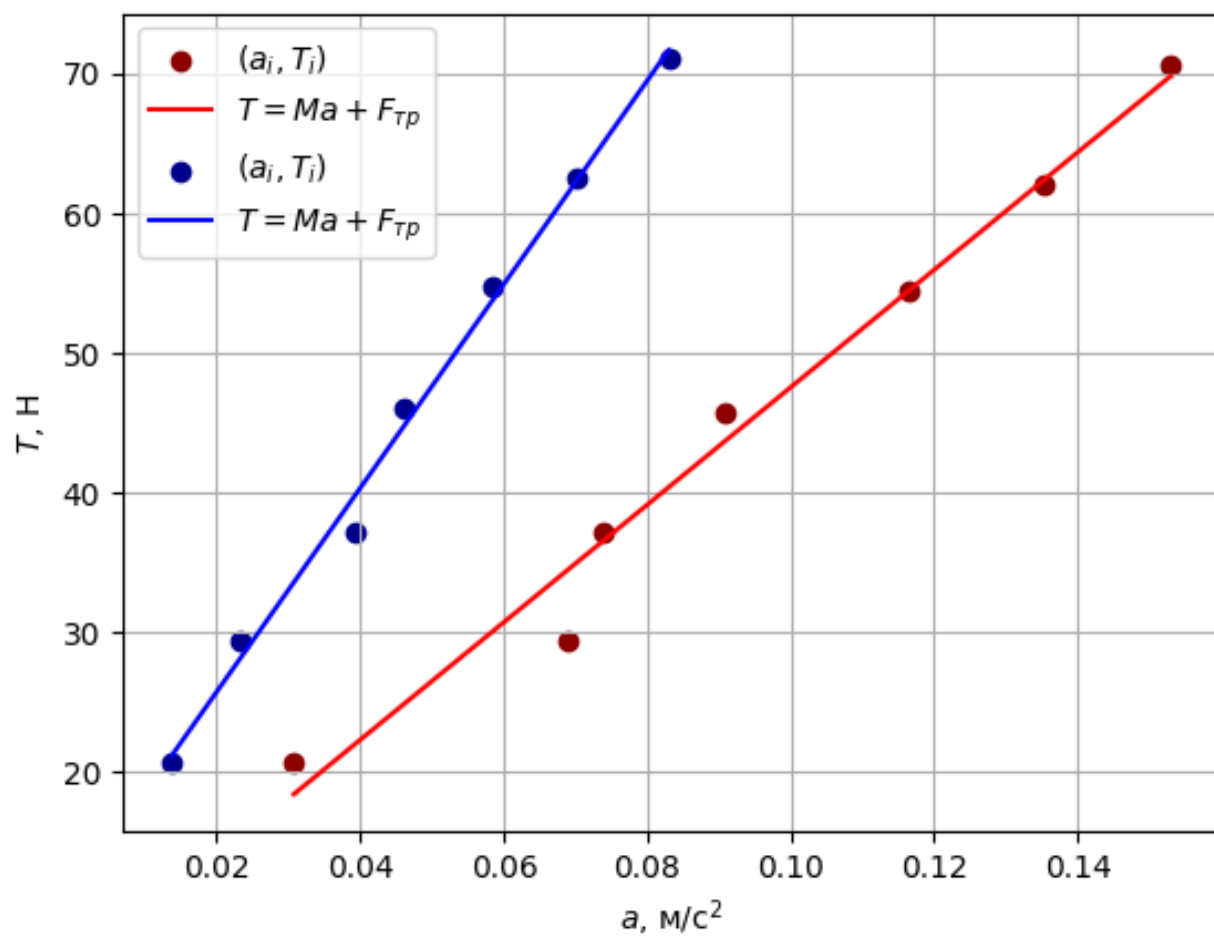


Рисунок 2 — График зависимости T от a для тележки без утяжелителя (красный) и без него (синий)

5 Выводы и анализ результатов работы

1. Теоретическое значение изменения энергии не попадает в экспериментальный доверительный интервал ни для первого эксперимента, ни для второго.

2. Измеренная с помощью лабораторных весов масса тележки не попадает в доверительный интервал массы, полученной с помощью МНК, ни для первого эксперимента, ни для второго.

6 Ответы на контрольные вопросы

1. *При каком условии импульс системы тел сохраняется с течением времени?*

Импульс системы тел сохраняется с течением времени при отсутствии внешних сил, изменяющих импульс системы

2. *При каком условии механическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?*

Механическая энергия системы тел сохраняется с течением времени при отсутствии внешних сил, совершающих работу над системой

3. *При каком условии кинетическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?*

Кинетическая энергия системы тел сохраняется с течением времени при отсутствии внешних сил, совершающих работу над системой и отсутствии потерь энергии

4. *Каковы теоретические значения изменения импульса системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?*

При упругом центральном соударении двух тел изменение импульса системы равно нулю, а при неупругом соударении изменение импульса системы равно разности импульсов тел до и после соударения

5. *Как влияет наличие сил трения на измеряемое в задании 1 изменение импульса тележек?*

Наличие сил трения приводит к потере механической энергии и изменению импульса тележек при соударении

6. *Каковы теоретические значения изменения кинетической энергии системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?*

При упругом центральном соударении двух тел изменение кинетической энергии системы равно нулю, а при неупругом соударении изменение кинетической энергии равно разности кинетических энергий тел до и после соударения

7. *Как влияет наличие сил трения на измеряемое в задании 1 изменение кинетической энергии тележек?*

Наличие сил трения приводит к потере кинетической энергии тележек при соударении

8. *От чего зависит, изменится или нет направление движения первой тележки в результате соударения при выполнении задания 1?*

Направление движения первой тележки после соударения зависит от относительных скоростей и масс тележек

9. *Каким соотношением связаны сила натяжения нити и ускорение тележки при выполнении задания 2, если силой трения для тележки можно пренебречь?*

Сила натяжения нити и ускорение тележки связаны соотношением второго закона Ньютона: сила натяжения равна произведению массы тележки на ее ускорение

10. *Может ли график зависимости силы натяжения нити от ускорения тележки при выполнении задания 2 идти ниже начала координат?*

График зависимости силы натяжения нити от ускорения тележки не может идти ниже начала координат, так как сила натяжения не может быть отрицательной

11. *Как зависит величина силы сопротивления воздуха от скорости движения тележки в задании 2? Как эта зависимость могла бы повлиять на вид графика $T(a)$?*

Величина силы сопротивления воздуха зависит от скорости движения тележки и может привести к уменьшению скорости и изменению траектории движения