

## Лабораторная работа № 1.03

Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона

### Содержание

Введение . . . . .	2
Экспериментальная установка . . . . .	8
Проведение измерений . . . . .	11
Обработка результатов . . . . .	15
Контрольные вопросы . . . . .	20
Литература . . . . .	21
Приложение . . . . .	22

## 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.

## 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.

## Введение

### Часть 1

Рассмотрим абсолютно упругое центральное соударение двух тел массами  $m_1$  и  $m_2$ . При таком соударении в замкнутой системе двух тел выполняются законы сохранения импульса и энергии. Пусть до соударения движется только первое тело, тогда уравнения законов имеют вид

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_{10} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\vec{v}_{10}$  – скорость первого тела до удара,  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  – соответственно, скорости первого и второго тел после удара. Считая скорость  $\vec{v}_{10}$  известной, найдем скорости обоих тел после удара. Пусть условия соударения таковы, что после удара оба тела продолжают двигаться

ся параллельно той прямой, по которой двигалось первое тело до удара.

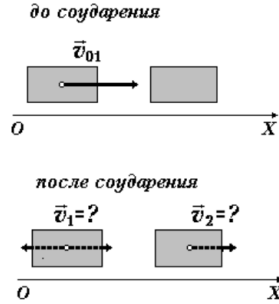


Рис. 1. Тела до соударения и после

Введем координатную ось  $OX$ , сонаправленную с вектором  $\vec{v}_{01}$  (см. Рис. 1). Для проекций скоростей  $v_{1x}$ ,  $v_{2x}$  из уравнений (1) получим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} m_1 v_{10} = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Умножим все слагаемые второго уравнения на два, и перенесем налево в обоих уравнениях слагаемые, характеризующие импульс и энергию первого тела:

$$\begin{cases} m_1(v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x} \\ m_1(v_{10}^2 - v_{1x}^2) = m_2 v_{2x}^2 \end{cases} \quad (3)$$

После удара скорость первого тела должна измениться. Поэтому содержимое скобок в левых частях уравнений (3) отлично от нуля, и для упрощения системы можно поделить левые и правые части нижнего уравнения на соответствующие части верхнего уравнения.

Результат деления сделаем вторым уравнением системы:

$$\begin{cases} m_1(v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x} \\ v_{10} + v_{1x} = v_{2x} \end{cases} . \quad (4)$$

Отсюда нетрудно найти окончательные выражения для скоростей

$$\begin{cases} v_{1x} = \frac{(m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2} \\ v_{1x} = \frac{2m_1 v_{10} v_{10}}{m_1 + m_2} \end{cases} . \quad (5)$$

Из первого уравнения (5) следует, что в зависимости от соотношения масс первое тело после соударения может:

- а) продолжить движение вперед ( $m_1 > m_2, v_{1x} > 0$ );
- б) остановится ( $m_1 = m_2, v_{1x} = 0$ );
- в) поменять направление движение на противоположное ( $m_1 < m_2, v_{1x} < 0$ ).

При абсолютно неупругом соударении рассмотренных выше тел, оба тела после удара двигаются как одно целое с суммарной массой. В этом случае законы сохранения импульса и энергии принимают вид

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_{10} = (m_1 + m_2) \vec{v} \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + W_{\text{пот}} \end{cases} . \quad (6)$$

Здесь  $\vec{v}$  – скорость тел после соударения,  $W_{\text{пот}}$  – потери механической энергии при соударении.

В первом уравнении (6) равенство векторов означает равенство их модулей, и для модуля скорости тел после соударения из этого уравнения находим

$$v = \frac{m_1 v_{10}}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Подставив во второе уравнение системы (6) вместо скорости  $v$  правую часть уравнения (7), получим следующее выражение для потерь механической энергии при соударении

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

Относительные потери механической энергии при неупругом соударении вычисляются по формуле

$$\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \quad (9)$$

В качестве соударяющихся тел в лабораторной работе выступают две тележки, скользящие с малым трением по горизонтальному рельсу.

## Часть 2

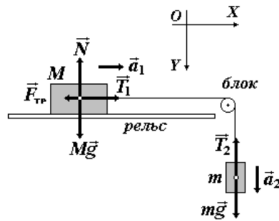


Рис. 2. Система из тележки и гирьки, соединенных нитью

Рассмотрим систему, состоящую из тележки  $M$  и гирьки  $m$ , соединенных невесомой нерастяжимой нитью (см. Рис. 2). Тележка

с небольшим трением скользит по горизонтальному рельсу. Масса блока, через который перекинута нить, пренебрежимо мала.

Уравнения второго закона Ньютона для тележки и гирьки, соответственно, имеют вид

$$M\vec{a}_1 = M\vec{g} + \vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{\text{тр}}; \quad (10)$$

$$m\vec{a}_2 = m\vec{g} + \vec{T}_2. \quad (11)$$

Здесь  $\vec{a}_1, \vec{a}_2$  – ускорения тележки и гирьки;  $\vec{N}$  – сила реакции опоры,  $\vec{T}_1, \vec{T}_2$  – силы натяжения нити,  $\vec{F}_{\text{тр}}$  – сила трения. Из-за нерастяжимости нити модули обоих ускорений равны друг другу, обозначим их одной буквой:  $a_1 = a_2 = a$ . Из-за невесомости нити и блока можно также принять, что силы натяжения с обеих сторон блока равны друг другу:  $T_1 = T_2 = T$ .

Для проекций векторов на координатные оси из уравнения (10) получаем

$$\begin{cases} OY : N = Mg \\ OX : Ma = T - F_{\text{тр}} \end{cases} ; \quad (12)$$

из уравнения (11):

$$OY : ma = mg - T. \quad (13)$$

Из второго уравнения системы (12) следует, что сила натяжения нити и ускорение тележки связаны соотношением

$$T = Ma + F_{\text{тр}}. \quad (14)$$

Если сила трения не изменяется во время эксперимента, то из

соотношения (14) зависимость  $T(a)$  является линейной. Угловой коэффициент этой зависимости равен массе  $M$  тележки, а значение силы натяжения при нулевом ускорении равно силе трения  $F_{\text{тр}}$ .

## Экспериментальная установка

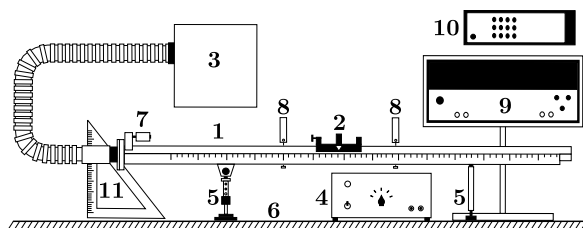


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки для первой части работы изображен на Рис. 3. 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

На левом конце рельса дополнительно к электромагниту крепится пружинное кольцо, которое используется для придания начальной скорости тележкам в первой части работы.

При выполнении второй части работы на правом конце рельса устанавливается шкив, через который перебрасывается нить, связывающая тележку с гирькой.



Вместе с пультом управления измерительного прибора на каждую лабораторную установку выдаются: две тележки с флажками для оптических ворот; утяжелитель для тележки; пара сменных втулок с рогатками и резиновыми кольцами для исследования упругого удара; пара сменных втулок с половинками липучки для исследования неупругого удара; подвеска с нитью; шайбы-навески; пружинное кольцо. Для определения массы тележек и гирь используются лабораторные электронные весы.

Характеристики средств измерения

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Погрешность
Линейка на рельсе	1.3 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

## **Техника безопасности**

1. Не разрешается включать установку в отсутствие преподавателя или лаборанта.
2. Нельзя оставлять без наблюдения лабораторную установку во включенном состоянии.
3. Воспрещается держать насос включённым дольше 2-3 минут.
4. Все электрические провода и кабели должны свободно лежать на столе и не должны быть натянуты.
5. В случае искрения, появления дыма немедленно обесточить установку и сообщить преподавателю или лаборанту.
6. После окончания работы все электроприборы должны быть выключены из сети.

## Проведение измерений

### Задание 1. Измерение скоростей тележек до и после соударения

1. Включить насос (тумблер «сеть» на источнике). Установить направляющий рельс горизонтально. Для этого поместить тележку на рельс около точки с координатой 0,6 м (приблизительно в середине рельса) и, вращая винт правой опоры, добиться неподвижности тележки. Выключить насос.
2. Установить на левом конце рельса пусковое пружинное кольцо под втулку электромагнита.
3. Установить левые оптические ворота на  $x = 0,300$  м, правые – на  $x' = 0,700$  м.
4. Одна из тележек (будем обозначать её Т.1) снабжена стальной втулкой для фиксации тележки электромагнитом. В нижний канал свободной стойки этой тележки необходимо аккуратно вставить втулку с рогаткой. Таковую же втулку вставить в нижний канал стойки другой тележки (будем обозначать её Т.2). Расположить тележки на рельсе, так чтобы рогатки были обращены друг к другу. Повернуть втулки с рогатками, так чтобы последние не задевали за рельс, и при соприкосновении натянутые на рогатки резиновые кольца были перпендикулярны друг другу. Снять вторую тележку с рельса.
5. Включить тумблер цифрового прибора (на правой боковой панели). Нажать последовательно кнопки на пульте управления: «режим работы: 0», «индикация: скорость  $v_1$  ,  $v_2$
6. Включить воздушный насос. Установить тележку Т.1 в стартовую позицию (см. п.6.), тележку Т.2 – в точку  $x = 0,550$  м (при

выровненной скамье эта тележка должна оставаться до соударения на месте). Запустить движение первой тележки и запомнить показания измерительного прибора для скорости  $v_{10}$  первой тележки до соударения и скоростей  $v_1$  и  $v_2$  тележек после соударения. Выключить насос.

Значения проекций скоростей занести в таблицу 1. В качестве положительного направления выбрать направление  $\vec{v}_{10}$ . Повторив измерения скоростей еще четыре раза, заполнить до конца таблицу 1.

7. Взвесить обе тележки на лабораторных весах и их массы  $m_1$  и  $m_2$  занести в таблицу 1.

8. Надеть утяжелитель на центральную стойку второй тележки (не забыть обратно закрепить флажок). Провести пять раз измерения скоростей до и после соударения также, как в п.6. Измерить массы тележек. Данные о сталкивающихся телах и скоростях занести в таблицу 2, аналогичную таблице 1. Обратите внимание, что после удара первая тележка движется противоположно первоначальному направлению, т.е. проекция её скорости отрицательна и в таблице эта скорость должна быть указана со знаком «-».

9. Снять со второй тележки утяжелитель. Втулки с рогатками заменить втулками с половинками липучки. ВТУЛКИ С РОГАТКАМИ ВЕРНУТЬ В ФУТЛЯР ДЛЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ.

10. Провести пять раз измерения для скоростей  $v_{10}$  и  $v$  при абсолютно неупругом соударении тележек, аналогичные измерениям п.6., а также измерения масс тележек. Заполнить таблицу 3.

11. Провести по пять раз измерения скоростей  $v_{10}$  и  $v$  для неупругого соударения с утяжелителем на второй тележке. Измерить массы тележек. Результаты занести в таблицу 4, подобную таблице 3.

12. Вынуть из тележек втулки с липучками, СНЯТЬ ПУСКОВОЕ ПРУЖИННОЕ КОЛЬЦО и положить их в футляр для принадлежностей. Электромагнит необходимо оставить укрепленным на рельсе.

**Задание 2. Измерение скорости тележки при ее разгоне под действием постоянной силы.**

1. Установить первые оптические ворота на  $x_1 = 0,150$  м, вторые – на  $x_2 = 0,800$  м и **записать эти значения координат**.
2. Взвесить первую тележку и ее массу записать в заголовок таблицы 5. На свободную стойку первой тележки накинуть петлю нити с подвеской. Установить тележку в крайнем положении на левом конце рельса. Перекинуть нить через блок, так чтобы подвеска свободно свисала над полом.
3. Придерживая тележку, включить воздушный насос и нажатием кнопки «механика: сброс» подать питание на электромагнит, фиксирующий тележку. Запустить тележку, нажав кнопку «механика: пуск». В момент пуска тележки подвеска не должна раскачиваться. Тележка начнет двигаться, последовательно пройдет левые и правые оптические ворота, и на дисплее прибора отразятся значения скоростей  $v_1$  и  $v_2$ . Выключить воздушный насос. Значения скоростей занести в таблицу 5.
4. Повторить измерения скоростей  $v_1$ ,  $v_2$  также как в п.3, последовательно увеличивая массу гирьки с помощью дополнительных шайб (см. второй столбец таблицы 5).
5. Последовательно снимая по одной шайбе с подвески, измерить и занести в таблицу 5 значения массы гирьки.
6. Установить на тележку утяжелитель. Провести измерения пп.

3,4,5 с теми же вариантами гирьки. Результаты занести в таблицу 6, подобную таблице 5. Взвесить тележку с утяжелителем, полученное значение массы записать в заголовок таблицы 6.

7. Вернуть в футляр утяжелитель, шайбы и подвеску с нитью.

## Обработка результатов

**Задание 1. Исследование потерь импульса и механической энергии при упругом и неупругом соударении двух тележек.**

1. По данным таблицы 1 рассчитать и занести в таблицу 7 импульсы тел:

$$p_{10x} = m_1 v_{10x}, p_{1x} = m_1 v_{1x}, p_{2x} = m_2 v_{2x}. \quad (15)$$

2. Вычислить для каждой строки 7 относительные изменения импульса и кинетической энергии системы при соударении по формулам:

$$\delta_p = \Delta p_x / p_{10x} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1, \quad (16)$$

$$\delta_W = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1. \quad (17)$$

Занести результаты в таблицу. Рассчитать средние значения  $\bar{\delta}_p$ ,  $\bar{\delta}_W$  относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы 7:

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N}; \bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N}. \quad (18)$$

Здесь  $i$  – номер опыта,  $N$  общее число опытов. По разбросу отдельных значений  $\delta_p$ ,  $\delta_W$  найти погрешности их средних значений (см. раздел «Прямые многократные измерения» в пособии «Обработка экспериментальных данных»):

$$\Delta\bar{\delta}_p = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}}; \Delta\bar{\delta}_W = t_{\alpha_{\text{дов}}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2}{N(N-1)}}, \quad (19)$$

где  $t_{\alpha_{\text{дов}}, N}$  – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и количества измерений  $N$ . Записать доверительные интервалы для  $\delta_p$  и  $\delta_W$ .

3. По данным таблицы 2 вычислить импульсы 15 и относительные изменения импульса и энергии 16, 17. Результаты представить в таблице 8, подобной таблице 7. По двум последним колонкам таблицы 8 найти средние значения  $\bar{\delta}_p$ ,  $\bar{\delta}_W$ , соответствующие погрешности  $\Delta\bar{\delta}_p$ ,  $\Delta\bar{\delta}_W$ .

4. По данным из 2 заполнить следующую таблицу 9, где

$$p_{10} = m_1 v_{10} - \text{импульс системы до соударения}; \quad (20)$$

$$p = (m_1 + m_2)v - \text{импульс системы после соударения}; \quad (21)$$

$$\delta_p = \Delta p / p_{10} = \frac{p_1}{p_{10}} - 1 - \text{относительное изменение импульса}; \quad (22)$$

$\delta_W^{(\Theta)}$  – экспериментальное значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

$$\delta_W^{(\Theta)} = \Delta W_k / W_{k0} = \frac{(m_1 + m_2)v_2^2}{m_1 v_{10}^2} - 1, \quad (23)$$



$\delta_W^{(T)}$  - теоретическое значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

$$\delta_W^{(T)} = -\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = -\frac{m_2}{m_1 + m_2}. \quad (24)$$

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

5. Выполнить вычисления пункта 5 для данных из таблицы 4, заполнив таблицу 10, подобную таблице 9.

## Задание 2. Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки. Проверка второго закона Ньютона

1. Используя значения координат оптических ворот  $x_1 = 0,150$  м,  $x_2 = 0,800$  м) и данные из таблицы 5, вычислить и записать в таблицу 11 ускорение  $a$  тележки и силу  $T$  натяжения нити:

$$a = \frac{(v_2)^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)}, T = m(g - a) \quad (25)$$

Ускорение свободного падения взять  $g = 9,82$  м/с<sup>2</sup> (на широте Санкт-Петербурга). Формула для ускорения 25 следует из формул равноускоренного движения  $v = v_0 + at$  и  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ . Формула для силы натяжения получается из уравнения 13.

2. Пользуясь таблицей 11, нанести на график точки экспериментальной зависимости  $T$  от  $a$ .

3. Найти массу  $M_1$  тележки (как коэффициент наклона экспериментальной зависимости  $T(a)$ ) и ее погрешность  $\Delta M_1$  методом наи-

меньших квадратов (МНК). Основы данного метода приведены в пособии «Обработка экспериментальных данных».

4. Найти методом наименьших квадратов (МНК) величину силы трения  $F_{\text{тр}}$ , как свободное слагаемое экспериментальной зависимости  $T(a)$ .
5. Построить с помощью найденных по МНК параметров  $M_1$  и  $F_{\text{тр}}$  на той же координатной сетке, что в п.2, график зависимости 14.
6. Выполнить действия пунктов 1–5 для данных из таблицы 6, заполнив таблицу 12, подобную таблице 11, построив на той же координатной сетке, что в п.2, график зависимости  $T$  от  $a$  при разгоне утяжелённой тележки.

В отчет по лабораторной работе должны входить:

- Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при упругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной.
- Доверительные интервалы для относительных изменений импульса и энергии при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной.
- Теоретические значения относительного изменения энергии  $\delta_W^{(T)}$  при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной. Вывод: попадает или нет теоретическое значение в указанные в п.2 экспериментальные доверительные интервалы
- На одной координатной сетке графики зависимости силы натяжения от ускорения для легкой и утяжеленной тележки.

- Доверительные интервалы для масс легкой и утяжеленной тележек, найденные из экспериментальной зависимости силы натяжения от ускорения тележки. Вывод о согласии табличных значений масс тележек с этими доверительными интервалами.

## Контрольные вопросы

1. При каком условии импульс системы тел сохраняется с течением времени?
2. При каком условии механическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?
3. При каком условии кинетическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?
4. Каковы теоретические значений изменения импульса системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?
5. Как влияет наличие сил трения на измеряемое в задании 1 изменение импульса тележек?
6. Каковы теоретические значений изменения кинетической энергии системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?
7. Как влияет наличие сил трения на измеряемое в задании 1 изменение кинетической энергии тележек?
8. От чего зависит, изменится или нет направление движения первой тележки в результате соударения при выполнении задания 1?
9. Каким соотношением связаны сила натяжения нити и ускорение тележки при выполнении задания 2, если силой трения для тележки можно пренебречь?
10. Может ли график зависимости силы натяжения нити от ускорения тележки при выполнении задания 2 идти ниже начала координат?
11. Как зависит величина силы сопротивления воздуха от скорости движения тележки в задании 2? Как эта зависимость могла бы повлиять на вид графика  $T(a)$  ?

## **Литература**

1. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Учеб.-метод. пособие - СПб.: НИУИТМО; ИХиБТ, 2012.
2. Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч.1: Кинематика, динамика: Учеб.-метод. пособие - СПб.: Университет ИТМО, 2019. // <https://books.ifmo.ru/book/2223>

## Приложение

**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					
2					
3					
4					
5					

**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					
2					
3					
4					
5					

**Таблица 3:** Таблица 2.1.

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_{10}$ , м/с	$v$ , м/с
1				
2				
3				
4				
5				

**Таблица 4:** Таблица 2.2.

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$v_1 0$ , м/с	$v$ , м/с
1				
2				
3				
4				
5				

**Таблица 5:** Таблица 3.1. Разгоняемое тело - тележка 1.  $M_1 = \dots$

№ опыта	Состав гирьки	$m$ , г	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	подвеска			
2	подвеска + одна шайба			
3	подвеска + две шайбы			
4	подвеска + три шайбы			
5	подвеска + четыре шайбы			
6	подвеска + пять шайб			
7	подвеска + шесть шайб			

**Таблица 6:** Таблица 3.2. Разгоняемое тело - тележка 1 с утяжелителем.  $M_1 = \dots$

№ опыта	Состав гирьки	$m$ , г	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с
1	подвеска			
2	подвеска + одна шайба			
3	подвеска + две шайбы			
4	подвеска + три шайбы			
5	подвеска + четыре шайбы			
6	подвеска + пять шайб			
7	подвеска + шесть шайб			

**Таблица 7:** Таблица 4.1

№ опыта	$p_{10x}$ , мН·с	$p_{1x}$ , мН·с	$p_{2x}$ , мН·с	$\delta_p$	$\delta_W$
1					
2					
3					
4					
5					

**Таблица 8:** Таблица 4.2

№ опыта	$p_{10x}$ , мН·с	$p_{1x}$ , мН·с	$p_{2x}$ , мН·с	$\delta_p$	$\delta_W$
1					
2					
3					
4					
5					

**Таблица 9:** Таблица 5.1

№ опыта	$p_{10}$ , мН·с	$p$ , мН·с	$\delta_p$	$\delta_W^{(\Xi)}$	$\delta_W^{(T)}$
1					
2					
3					
4					
5					



**Таблица 10:** Таблица 5.2

№ опыта	$p_{10},$ мН·с	$p,$ мН·с	$\delta_p$	$\delta_W^{(\Xi)}$	$\delta_W^{(T)}$
1					
2					
3					
4					
5					

**Таблица 11:** Таблица 6.1

№ опыта	$m,$ г	$a,$ м/с <sup>2</sup>	$T,$ мН
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

**Таблица 12:** Таблица 6.2

№ опыта	$m,$ г	$a,$ м/с <sup>2</sup>	$T,$ мН
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			