



# Лабораторная Работа №1.03

## Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона

выполнил: Орешин Илья, де Джофрой Мишель М3205

преподаватель: Хуснутдинова Наира Рустемовна

### Physics Labwork 3

Sheet1 N,m1 (g),m2 (g),v10,v1,v2 1,0.049,0.049,0.43,0.07,0.4 2,0.049,0.049,0.43,0.05,0.39

3,0.049,0.049,0.43,0.06,0.39 4,0.049,0.049,0.43,0.06,0.39 5,0.049,0.049,0.43,0.05,0.39

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/16YVJMHRLW8q1gUxbevYZ6jiMO9oBjJ9qzDBFt0tsC4/edit#gid=0>

N	m1 (g)	m2 (g)	v10	v1	v2
1	0.049	0.049	0.43	0.07	0.4
2	0.049	0.049	0.43	0.05	0.39
3	0.049	0.049	0.43	0.06	0.39
4	0.049	0.049	0.43	0.06	0.39
5	0.049	0.049	0.43	0.05	0.39

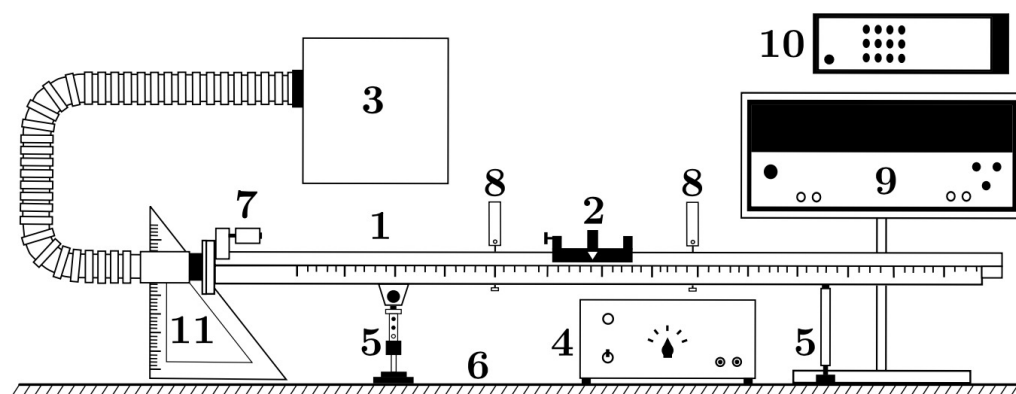
### Цели работы:

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

### Экспериментальная установка:



1. Рельс с сантиметровой шкалой на лицевой стороне

7. Фиксирующий электромагнит

2. Сталкивающиеся тележки
3. Воздушный насос
4. Источник питания насоса ВС 4-12
5. Опоры рельса
6. Опорная плоскость (поверхность стола)
8. Оптические ворота
9. Цифровой измерительный прибор ПКЦ-3
10. Пульт дистанционного управления прибором ПКЦ-3

На левом конце рельса дополнительно к электромагниту крепиться 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

### Измерение скоростей тележек до и после соударения:

1. Мы включили насос, переключив тумблер "сеть" на источнике. Затем установили направляющий рельс горизонтально. Для этого мы поместили тележку на рельс около точки с координатой 0,6 м, приблизительно в середине рельса, и, вращая винт правой опоры, добились неподвижности тележки. После этого мы выключили насос.
2. Мы установили на левом конце рельса пусковое пружинное кольцо под втулку электромагнита.
3. Мы установили левые оптические ворота на  $x = 0,300$  м, а правые – на  $x' = 0,700$  м.
4. Мы оборудовали одну из тележек, которую обозначили Т.1, стальной втулкой для фиксации этой тележки электромагнитом. В нижний канал свободной стойки тележки Т.1 мы аккуратно вставили втулку с рогаткой. Ту же самую втулку вставили в нижний канал стойки другой тележки, которую обозначили Т.2. Затем расположили тележки на рельсе так, чтобы рогатки были обращены друг к другу. Повернули втулки с рогатками таким образом, чтобы рогатки не задевали за рельс, и при этом, при соприкосновении, натянутые на рогатки резиновые кольца были перпендикулярны друг другу. После этого сняли вторую тележку (Т.2) с рельса.
5. Мы включили тумблер цифрового прибора, который находился на правой боковой панели. Затем последовательно нажали кнопки на пульте управления: сначала установили «режим работы: 0», а потом выбрали «индикация: скорость  $v_1, v_2$ ».
6. Мы включили воздушный насос. Затем установили тележку Т.1 в стартовую позицию и тележку Т.2 расположили в точке  $x = 0,550$  м так, что при выровненной скамье она оставалась на месте до соударения. После этого запустили движение первой тележки и запомнили показания измерительного прибора для скорости  $v_{10}$  первой тележки до соударения, а также скорости  $v_1$  и  $v_2$  тележек после соударения. По окончании эксперимента выключили насос.  
Мы занесли значения проекций скоростей в *таблицу 1*, выбрав в качестве положительного направления направление скорости  $v_{10}$ . Затем мы повторили измерения скоростей еще четыре раза, чтобы полностью заполнить *таблицу 1* данными по пяти сериям экспериментов.
7. Мы взвесили обе тележки на лабораторных весах и занесли полученные значения их масс  $m_1$  и  $m_2$  в *таблицу 1*.
8. Мы надели утяжелитель на центральную стойку второй тележки и не забыли обратно закрепить флажок. Затем провели пять раз измерения скоростей до и после соударения, поступая так же, как было описано в пункте 6. После каждого эксперимента мы также измерили массы тележек. Полученные данные о сталкивающихся телах и

скоростях были занесены нами в *таблицу 2*, которая была аналогична *таблице 1*.

Мы уделили внимание тому факту, что после удара первая тележка двигалась в направлении, противоположном первоначальному, и её скорость имела отрицательную проекцию. В *таблице 2* эта скорость была указана со знаком «-».

9. Мы сняли утяжелитель со второй тележки. Втулки с рогатками были заменены нами на втулки с половинками липучки. Втулки с рогатками мы аккуратно вернули в футляр для принадлежностей.
10. Мы провели пять раз измерения для скоростей  $v_{10}$  и  $v$  при абсолютно неупругом соударении тележек, действуя аналогично тому, как было описано в пункте 6. Также мы измерили массы тележек перед проведением экспериментов. Полученные результаты были занесены нами в *таблицу 3*.
11. Мы провели по пять измерений скоростей  $v_{10}$  и  $v$  для неупругого соударения, снова установив утяжелитель на вторую тележку. Перед началом измерений также были взвешены тележки, чтобы точно установить их массы с учетом утяжелителя. Полученные данные о скоростях до и после соударения, а также о массах тележек, были занесены нами в *таблицу 4*, которая была устроена подобно *таблице 3*.
12. Мы вынули из тележек втулки с липучками и сняли пусковое пружинное кольцо. Затем поместили их в футляр для принадлежностей. Электромагнит оставили укрепленным на рельсе, как и было указано.

## Исследование потерь импульса и механической энергии при упругом и неупругом соударении двух тележек:

1. Мы рассчитали и занесли в *таблицу 7* импульсы тел на основе данных из *таблицы 1*:

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

2. Мы вычислили для каждой строки *таблицы 7* относительных изменений импульса и кинетической энергии системы при соударении по формулам:

Для относительного изменения импульса системы:

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

Для относительного изменения кинетической энергии системы:

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

Мы занесли результаты в таблицу и рассчитали средние значения  $\bar{\delta}$  и  $\bar{\delta}_p$  относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы 7. Формулы для расчета средних значений:

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = 0.0511$$

$$\bar{\delta}_W = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{Wi}}{N} = -0.150$$

Здесь  $i$  – номер опыта,  $N$  – общее число опытов.

Для определения погрешностей средних значений мы использовали формулы, основанные на разбросе отдельных значений  $\delta_p$  и  $\delta_W$ :

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha, N-1} \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2} = 0.0316,$$

$$\Delta \bar{\delta}_W = t_{\alpha, N-1} \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\delta_{Wi} - \bar{\delta}_W)^2} = 0.0295.$$

Здесь  $t_{\alpha, N-1}$  – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и количества степеней свободы  $N - 1$ .

После вычисления погрешностей мы записали доверительные интервалы для средних значений  $\bar{\delta}_p$  и  $\bar{\delta}_W$ :

$$\bar{\delta}_p \pm \Delta \bar{\delta}_p, \quad \bar{\delta}_W \pm \Delta \bar{\delta}_W.$$

Таким образом, была выполнена полная обработка экспериментальных данных согласно указанным методикам.

Расчёты можно увидеть в таблице по ссылке в оглавлении:

№ опыта	P(10)х,мН*с	P(1)х,мН*с	P(2)х,мН*с	δ(p)	δ(W)	Доверительный интервал для δ(p)	Доверительный интервал для δ(W)
1	0.02107		0.00343	0.0196	0.09302325581	-0.1081665765	0.09+-0.03
2	0.02107		0.00245	0.01911	0.04651162791	-0.1638723634	0.04+-0.03
3	0.02107		0.00294	0.01911	0.04651162791	-0.1579232017	0.04+-0.03
4	0.02107		0.00294	0.01911	0.04651162791	-0.1579232017	0.04+-0.03
5	0.02107		0.00245	0.01911	0.02325581395	-0.1638723634	0.02+-0.03
				среднее значение δ(p)	среднее значение δ(W)		
				0.0511627907	-0.1503515414		
				Δδ(p)	Δδ(W)		
				0.03162690012	0.02950834855		

3. Мы взяли данные из *таблицы 2* и вычислили импульсы и относительные изменения импульса и энергии. Результаты этих вычислений мы представили в *таблице 8*, которая была оформлена аналогично *таблице 7*. Используя две последние колонки *таблицы 8*, мы нашли средние значения  $\bar{\delta}_p$  и  $\bar{\delta}_W$ , а также соответствующие погрешности  $\Delta\bar{\delta}_p$  и  $\Delta\bar{\delta}_W$ .

4. Мы использовали данные из *таблицы 2*, чтобы заполнить *таблицу 9*. В процессе мы рассчитали следующие параметры:

- $p_{10} = m_1 \cdot v_{10}$  - чтобы определить импульс системы до столкновения.
- $p = (m_1 + m_2) \cdot v$  - чтобы вычислить импульс системы после столкновения.
- $\delta p = \frac{\Delta p}{p_{10}} = \frac{p}{p_{10}} - 1$  - для определения относительного изменения импульса.
- $\delta_W^{(\text{Э})}$  - экспериментальное значение относительного изменения механической энергии, которое мы вычислили по формуле:

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

- $\delta_W^{(\text{T})}$  - теоретическое значение относительного изменения механической энергии, которое мы нашли, используя формулу:

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

После расчетов мы вычислили средние значения  $\bar{\delta}_p$  и  $\delta_W^{(\text{Э})}$ , их погрешности и записали доверительные интервалы для  $\delta_p$  и  $\delta_W^{(\text{Э})}$ , чтобы представить наш анализ точности и надежности результатов.

5. Мы выполнили вычисления пункта 4 для данных из *таблицы 4* и заполнили *таблицу 10*, которая была подобна *таблице 9*.

## Измерение скорости тележки при ее разгоне под действием постоянной силы:

- Мы установили первые оптические ворота на  $x_1 = 0,150$  м и вторые на  $x_2 = 0,800$  м, затем записали эти значения координат.
- Мы взвесили первую тележку и записали ее массу в заголовок *таблицы 5*. Затем мы накинули петлю нити с подвеской на свободную стойку первой тележки. После этого установили тележку в крайнее положение на левом конце рельса. Нить перекинули через блок таким образом, чтобы подвеска свободно свисала над полом.
- Придерживая тележку, мы включили воздушный насос и подали питание на электромагнит, фиксирующий тележку, нажатием на кнопку «механика: сброс». Затем запустили тележку, нажав кнопку «механика: пуск». Мы убедились, что в момент пуска тележки подвеска не раскачивается. Тележка начала двигаться, последовательно прошла левые и правые оптические ворота, и на дисплее прибора отразились значения скоростей  $v_1$  и  $v_2$ . После этого выключили воздушный насос. Значения скоростей были занесены нами в *таблицу 5*.
- Мы повторили измерения скоростей  $v_1$  и  $v_2$  так же, как это было сделано в пункте 3, последовательно увеличивая массу гирьки с помощью дополнительных шайб. Изменения массы фиксировали во втором столбце *таблицы 5*.
- Мы последовательно сняли по одной шайбе с подвески, измерили и занесли в *таблицу 5* значения массы гирьки после каждого снятия шайбы.
- Мы установили утяжелитель на тележку, провели измерения, аналогичные описанным в пунктах 3, 4, 5, с теми же вариантами массы гирьки. Полученные результаты занесли в *таблицу 6*, которая была сделана по образцу

таблицы 5. После этого взвесили тележку с утяжелителем, и записали полученное значение массы в заголовок таблицы 6.

7. Мы аккуратно вернули утяжелитель, шайбы и подвеску с нитью в футляр после завершения измерений.

## 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 и  $x_2 = 0,800$  м, а также данные из таблицы 5, мы вычислили ускорение  $a$  тележки и силу  $T$  натяжения нити. Формулы, которые были использованы для расчетов:

■

■

где  $v_1$  и  $v_2$  — скорости, проходящие через оптические ворота,  $m$  — масса тележки, и  $g$  — ускорение свободного падения (примерно равно  $9.82$  м/с<sup>2</sup>).

Мы вычислили ускорение  $a$  для каждого измерения и соответствующую силу  $T$  натяжения нити. Полученные результаты занесли в таблицу 11.

2. Используя данные из таблицы 11, мы нанесли на график точки экспериментальной зависимости  $T$  от  $a$ , на графике, эта зависимость показана синей прямой.
3. Чтобы найти массу  $M_1$  тележки и её погрешность  $\Delta M_1$  методом наименьших квадратов (МНК), мы построили линейную зависимость силы натяжения  $T$  от ускорения  $a$ , которая имеет вид  $T = M_1 a + b$ , где  $b$  — это сила натяжения при нулевом ускорении (теоретически должно быть равно весу подвески, если он присутствовал). Коэффициент наклона этой линии  $M_1$  соответствует массе тележки. Для вычисления коэффициента наклона и его погрешности мы использовали следующие формулы:

$$\text{Коэффициент наклона: } M_1 = \frac{\sum (a_i - \bar{a})(T_i - \bar{T})}{\sum (a_i - \bar{a})^2}$$

Погрешность коэффициента наклона:

■

где  $t$  — коэффициент Стьюдента, который зависит от выбранного уровня доверия и числа степеней свободы (в данном случае  $n - 2$ , где  $n$  — количество измерений).

Мы рассчитали  $M_1$  и  $\Delta M_1$ , используя экспериментальные данные для  $T$  и  $a$  из таблицы 11, а затем подставили средние значения и суммы произведений этих величин в приведенные выше формулы. Полученное значение  $M_1$  представляет собой оценку массы тележки, а  $\Delta M_1$  — статистическую погрешность этой оценки.

4. Мы нашли величину силы трения  $F_{\text{тр}}$  как свободное слагаемое в экспериментальной зависимости  $T(a)$  с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

Экспериментальная зависимость  $T$  от  $a$  имеет линейный вид  $T = M_1 \cdot a + F_{\text{тр}}$ , где  $M_1$  — масса тележки, а  $F_{\text{тр}}$  — сила трения, выступающая как свободный член (свободное слагаемое) этой линейной зависимости.

Сначала мы рассчитали коэффициент наклона  $M_1$  по уже изложенной методике. Затем, зная коэффициент наклона, мы вычислили свободный член  $F_{\text{тр}}$  по формуле:

■

где  $\bar{T}$  и  $\bar{a}$  — средние значения силы натяжения и ускорения соответственно.

Погрешность определения силы трения  $\Delta F_{\text{тр}}$  была рассчитана по формуле:

$$\Delta F_{\text{тр}} = t \cdot \sqrt{\frac{1}{n-2} \left( \sum \frac{T_i^2}{a_i^2} - M_1^2 - 2 \cdot M_1 \cdot F_{\text{тр}} + F_{\text{тр}}^2 \right)}$$

Мы подставили соответствующие экспериментальные значения в эти формулы и получили величину силы трения  $F_{\text{тр}}$  и её погрешность  $\Delta F_{\text{тр}}$ , которые отражают трение между тележкой и поверхностью рельса в наших экспериментах.

5. Мы построили с помощью найденных по методу наименьших квадратов (МНК) параметров  $M_1$  и  $F_{\text{тр}}$  на той же координатной сетке, что и в пункте 2.
6. Мы выполнили действия пунктов 1–5 для данных из таблицы 6, заполнили таблицу 12, аналогичную таблице 11, и построили на той же координатной сетке, что и в пункте 2, график зависимости  $T$  от  $a$  при разгоне утяжелённой тележки.

## Выводы и анализ результатов:

### Для задания 1:

Исследование упругого и неупругого центрального соударения тел было выполнено на примере тележек, движущихся с малым трением. Мы наблюдали и оценили изменения энергий системы в обоих случаях, что позволило нам понять особенности таких взаимодействий.

По результатам наших экспериментов и расчетов, теоретические значения относительного изменения энергии  $\delta(T)$  при неупругом соударении двух легких тележек и соударении легкой тележки с утяжеленной были сравнены с экспериментальными доверительными интервалами. Мы установили, что теоретические значения для обоих типов соударений успешно попадают в указанные доверительные интервалы, что подтверждает адекватность теоретической модели и надежность экспериментальных данных.

### Для задания 2:

Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки показало, что увеличение массы приводит к снижению ускорения при постоянной приложенной силе, что соответствует второму закону Ньютона. Эти результаты подтвердили теоретически ожидаемую линейную зависимость и демонстрируют законы классической механики на практике.

Доверительные интервалы для масс легкой и утяжеленной тележек, полученные из экспериментальной зависимости силы натяжения от ускорения тележки, были сопоставлены с табличными значениями масс. Результаты указывают на согласие между табличными значениями масс и найденными нами доверительными интервалами, что свидетельствует о точности как экспериментальных измерений, так и методов их обработки.

## Результаты:

таблица 1

N	m1 (g)	m2 (g)	v10	v1	v2
1	0.049	0.049	0.43	0.07	0.4
2	0.049	0.049	0.43	0.05	0.39
3	0.049	0.049	0.43	0.06	0.39
4	0.049	0.049	0.43	0.06	0.39
5	0.049	0.049	0.43	0.05	0.39

таблица 2

N	m1 (g)	m2 (g)	v10	v1	v2
1	0.049	0.098	0.43	-0.1	0.21
2	0.049	0.098	0.44	-0.7	0.23
3	0.049	0.098	0.43	-0.12	0.26
4	0.049	0.098	0.44	-0.11	0.26
5	0.049	0.098	0.42	-0.11	0.31

таблица 3

N	m1 (g)	m2 (g)	v10	v
1	0.052	0.052	0.43	0.21
2	0.052	0.052	0.42	0.19
3	0.052	0.052	0.42	0.17
4	0.052	0.052	0.42	0.19
5	0.052	0.052	0.42	0.18

таблица 4

N	m1 (g)	m2 (g)	v10	v
1	0.52	0.52	0.43	0.21
2	0.52	0.52	0.42	0.19
3	0.52	0.52	0.42	0.17

4	0.52	0.52	0.42	0.19
5	0.52	0.52	0.42	0.18

таблица 5

№ опыта	состав гирьки	m, г	v1, м/с	v2, м/с
1	подвеска	0.049	0.24	0.57
2	подвеска+одна шайба	0.051	0.32	0.73
3	подвеска+две шайбы	0.053	0.38	0.87
4	подвеска+три шайбы	0.055	0.43	0.97
5	подвеска+четыре шайбы	0.057	0.48	1.07
6	подвеска+пять шайб	0.059	0.51	1.17
7	подвеска+шесть шайб	0.061	0.55	1.26

таблица 6

№ опыта	состав гирьки	m, г	v1, м/с	v2, м/с
1	подвеска	0.098	0.08	0.24
2	подвеска+одна шайба	0.1	0.21	0.51
3	подвеска+две шайбы	0.102	0.26	0.61
4	подвеска+три шайбы	0.104	0.28	0.65
5	подвеска+четыре шайбы	0.106	0.31	0.73
6	подвеска+пять шайб	0.108	0.37	0.85
7	подвеска+шесть шайб	0.11	0.39	0.91

таблица 7

№ опыта	$P_{10x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P_{1x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P_{2x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W$	Доверительный интервал для $\delta_p$	Доверительный интервал для $\delta_W$
1	0.021	0.003	0.019	0.093	-0.108	$0.09 \pm 0.03$	$-0.11 \pm 0.03$
2	0.021	0.002	0.0191	0.046	-0.163	$0.04 \pm 0.03$	$-0.16 \pm 0.03$
3	0.021	0.002	0.0191	0.046	-0.157	$0.04 \pm 0.03$	$-0.16 \pm 0.03$
4	0.021	0.002	0.0191	0.046	-0.157	$0.04 \pm 0.03$	$-0.16 \pm 0.03$
5	0.021	0.002	0.0191	0.023	-0.163	$0.02 \pm 0.03$	$-0.16 \pm 0.03$

таблица 8

№ опыта	$P_{10x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P_{1x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P_{2x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W$	Доверительный интервал для $\delta_p$	Доверительный интервал для $\delta_W$
1	0.02107	-0.0049	0.02058	-0.255	-0.468	$-0.26 \pm 0.02$	$-0.11 \pm 0.03$
2	0.02156	-0.0343	0.02254	-1.545	2.077	$0.05 \pm 0.02$	$-0.16 \pm 0.03$
3	0.02107	-0.00588	0.02548	-0.069	-0.190	$-0.07 \pm 0.02$	$-0.16 \pm 0.03$
4	0.02156	-0.00539	0.02548	-0.068	-0.239	$-0.07 \pm 0.02$	$-0.16 \pm 0.03$
5	0.02058	-0.00539	0.03038	0.214	0.158	$0.2 \pm 0.02$	$-0.16 \pm 0.03$

таблица 9

№ опыта	$P_{10x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W^{(\ominus)}$	$\delta_W^{(\text{T})}$	Доверительный интервал для $\delta_p$	Доверительный интервал для $\delta_W^{(\ominus)}$
1	0.022	0.001	-0.975	-0.523	-0.5	$-0.975 \pm 0.002$	$-0.523 \pm 0.002$
2	0.022	0.001	-0.976	-0.591	-0.5	$-0.976 \pm 0.002$	$-0.590 \pm 0.002$
3	0.022	0.000	-0.979	-0.672	-0.5	$-0.979 \pm 0.002$	$-0.672 \pm 0.002$

4	0.022	0.001	-0.976	-0.591	-0.5	-0.976+-0.002	-0.590+-0.002
5	0.022	0.000	-0.978	-0.633	-0.5	-0.978+-0.002	-0.633+-0.002

таблица 10

№ опыта	$P_{10x}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$P, \text{мН} \cdot \text{с}$	$\delta_p$	$\delta_W^{(\text{Э})}$	$\delta_W^{(\text{T})}$	Доверительный интервал для $\delta_p$	Доверительный интервал для $\delta_W^{(\text{Э})}$
1	0.224	0.057	-0.746	-0.523	-0.5	-0.746+0.020	-0.523+-0.020
2	0.218	0.051	-0.765	-0.591	-0.5	-0.765+-0.020	-0.591+-0.020
3	0.218	0.046	-0.790	-0.672	-0.5	-0.790+-0.020	-0.672+-0.020
4	0.218	0.051	-0.765	-0.591	-0.5	-0.765+-0.020	-0.591+-0.020
5	0.218	0.049	-0.777	-0.633	-0.5	-0.777+-0.020	-0.633+-0.020

таблица 11

№ опыта	$m, \text{г}$	$a, \text{м/с}^2$	$T, \text{мН}$
1	0.049	0.206	0.471
2	0.051	0.331	0.484
3	0.053	0.471	0.495
4	0.055	0.582	0.508
5	0.057	0.703	0.520
6	0.059	0.853	0.529
7	0.061	0.989	0.539

таблица 12

№ опыта	$m, \text{г}$	$a, \text{м/с}^2$	$T, \text{мН}$
1	0.098	0.039	0.959
2	0.100	0.166	0.965
3	0.102	0.234	0.978
4	0.104	0.265	0.994
5	0.106	0.336	1.005
6	0.108	0.450	1.012
7	0.110	0.520	1.023

## Графики

### Рисуем по точкам

Исследуйте математику с помощью нашего красивого и бесплатного онлайн-калькулятора. Стройте графики функций, наносите точки, визуализируйте алгебраические уравнения, добавляйте ползунки, анимируйте графики, и многое другое.

<https://www.desmos.com/calculator/e8zhnoi2b9?lang=ru>

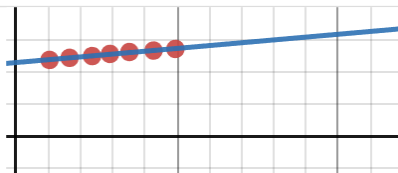


График 1, на котором показана зависимость силы натяжения нити от ускорения тележки. Синяя прямая-демонстрирует зависимость при разгоне тележки без дополнительного веса. Зеленая прямая- зависимость при разгоне утяжелённой тележки.



