
Группа R3142 К работе допущен _____

Студент Лоскутова И.В. Работа выполнена _____

Преподаватель Курашова С.А. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.03

Изучение скольжения тележки по

наклонной плоскости

1. Цель работы.

Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго закона Ньютона.

2. Задачи, решаемые при выполнении 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.

3. Объект исследования.

Тележки на опорной плоскости.

4. Метод экспериментального исследования.

Столкновение на рельсе две тележки, одна из которых покоится.

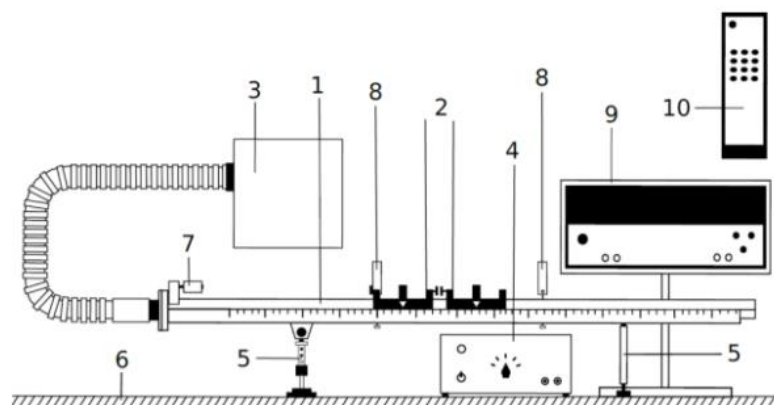
5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. $p_{10x} = m_1 v_{10x}, p_{1x} = m_1 v_{1x}, p_{2x} = m_2 v_{2x}$
2. $\partial_p = \frac{\Delta p_x}{p_{10x}} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1, \partial_w = \frac{\Delta w_k}{w_{k0}} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1$
3. $\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N}, \bar{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N}$
4. $\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}}, \Delta \bar{\delta}_w = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{wi} - \bar{\delta}_w)^2}{N(N-1)}}$
5. $a = \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2(x_2 - x_1)}$
6. $T = m(g - a)$
7. $v = v_0 + at$
8. $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность прибора
1	Линейка на рельсе	1,30 м	1 см/дел	0,5 см
2	ПКЦ-3 в режиме измерения скорости	9,99 м/с	0,01 м/с	0,01 м/с
3	Лабораторные весы	250 г	0,1 г	0,1 г

7. **Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).**



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).**

Задание 1

Таблица 1.1. Зависимость скорости тел при абсолютно упругом соударении без утяжелителя.

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10X} , м/с	v_{1X} , м/с	v_{2X} , м/с
1	51	49	0,55	0,09	0,48
2			0,53	0,11	0,48
3			0,51	0,11	0,46
4			0,55	0,11	0,49
5			0,51	0,11	0,47

Таблица 1.2. Зависимость скоростей тел при абсолютно упругом столкновении с утяжелителем.

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10X} , м/с	v_{1X} , м/с	v_{2X} , м/с
1	51	98	0,56	-0,10	0,27
2			0,57	-0,07	0,31
3			0,55	-0,08	0,30
4			0,57	-0,08	0,34
5			0,5	-0,06	0,28

Таблица 2.1 Зависимость скоростей тел при абсолютно неупругом столкновении без утяжелителя.

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	54	52	0,41	0,19
2			0,41	0,20
3			0,41	0,19
4			0,43	0,20
5			0,43	0,18

Таблица 2.2. Зависимость скоростей тел при абсолютно неупругом столкновении с утяжелителем.

№ опыта	m_1 , г	m_2 , г	v_{10} , м/с	v , м/с
1	100	54	0,52	0,06
2			0,54	0,06
3			0,54	0,05
4			0,54	0,08
5			0,54	0,07

Задание 2

$$x_1 = 0,150 \text{ м}, \quad x_2 = 0,800 \text{ м}$$

Таблица 3.1. Зависимость скоростей тел при разгоне под действием постоянной силы ($M = 49,0 \text{ г}$).

№ опыта	Состав гирьки	m, г	v ₁ , м/с	v ₂ , м/с
1	подвеска	1,9	0,39	0,61
2	подвеска + одна шайба	2,9	0,50	0,78
3	подвеска + две шайбы	3,8	0,57	0,92
4	подвеска + три шайбы	4,6	0,63	0,97
5	подвеска + четыре шайбы	5,2	0,68	1,07
6	подвеска + пять шайб	6,0	0,73	1,16
7	подвеска + шесть шайб	7,0	0,78	1,2

Таблица 3.2. Зависимость скоростей тел при разгоне под действием постоянной силы с утяжелителем ($M = 98,0 \text{ г}$).

№ опыта	Состав гирьки	m, г	v ₁ , м/с	v ₂ , м/с
1	подвеска	1,9	0,3	0,48
2	подвеска + одна шайба	2,9	0,37	0,53
3	подвеска + две шайбы	3,8	0,41	0,65
4	подвеска + три шайбы	4,6	0,46	0,75
5	подвеска + четыре шайбы	5,2	0,51	0,82
6	подвеска + пять шайб	6	0,54	0,86
7	подвеска + шесть шайб	7	0,57	0,92

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Задание 1

- По данным таблицы 1.1 рассчитаем и занесем в таблицу 4.1 импульсы тел:

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

- Вычислим для каждой строки 4.1 относительные изменения импульса и кинетической

энергии системы при соударении по формулам:

$$\partial_p = \frac{\Delta p_x}{p_{10x}} = \frac{(p_{1x} + p_{2x})}{p_{10x}} - 1, \quad \partial_w = \frac{\Delta w_k}{w_{k0}} = \frac{m_1 v_{1x}^2 + m_2 v_{2x}^2}{m_1 v_{10x}^2} - 1.$$

Таблица 4.1

№ опыта	p _{10x} , мН·с	p _{1x} , мН·с	p _{2x} , мН·с	δp	δW
1	28,05	4,59	23,52	0,01	-0,24
2	27,03	5,61	23,52	0,08	-0,17
3	26,01	5,61	22,54	0,08	-0,17
4	28,05	5,61	24,01	0,06	-0,20
5	26,01	5,61	23,03	0,10	-0,14

3. Рассчитаем средние значения $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы 4.1:

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = 0,06$$

$$\bar{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N} = -0,18$$

4. По данным таблицы 1.2 вычислить импульсы и относительные изменения импульса и энергии. Рассчитаем средние значения $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ относительных изменений импульса и энергии по двум последним колонкам таблицы.

Таблица 4.2

№ опыта	p_{10x} , мН·с	p_{1x} , мН·с	p_{2x} , мН·с	δp	δW
1	28,56	-5,10	26,46	-0,25	-0,52
2	29,07	-3,57	30,38	-0,08	-0,42
3	28,05	-4,08	29,40	-0,09	-0,41
4	29,07	-4,08	33,32	0,01	-0,30
5	25,50	-3,06	27,44	-0,04	-0,38

$$\bar{\delta}_p = -0,09, \quad \bar{\delta}_w = -0,41$$

5. По данным из таблицы 2.1 заполним следующую таблицу 5.1:

Таблица 5.1

№ опыта	p_{10} , мН·с	p , мН·с	δp	$\delta_w(\text{э})$	$\delta_w(\tau)$
1	22,14	20,14	-0,09	-0,58	-0,49
2	22,14	21,20	-0,04	-0,53	
3	22,14	20,14	-0,09	-0,58	
4	23,22	21,2	-0,09	-0,57	
5	23,22	19,08	-0,18	-0,66	

Здесь

$p_{10} = m_1 v_{10}$ – импульс системы до соударения;

$p = (m_1 + m_2) v$ – импульс системы после соударения;

$\delta_p = \Delta p / p_{10} = \frac{p_1}{p_{10}} - 1$ – относительное изменение импульса;

$\delta_w^{(\text{э})}$ – экспериментальное значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

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

$\delta_w^{(\tau)}$ – теоретическое значение относительного изменения механической энергии, вычисляемое по формуле

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

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,14, \bar{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N} = -0,62$$

6. Выполним вычисления пункта 5 для данных из таблицы 2.2, заполнив таблицу 5.2:

Таблица 5.2

№ опыта	$p_{10}, \text{мН} \cdot \text{с}$	$p, \text{мН} \cdot \text{с}$	δp	$\delta_w(\text{э})$	$\delta_w(\tau)$
1	28,08	9,24	-0,67	-0,96	-0,65
2	29,16	9,24	-0,68	-0,96	
3	29,16	7,70	-0,74	-0,98	
4	29,16	12,32	-0,58	-0,94	
5	29,16	10,78	-0,63	-0,95	

$$\bar{\delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{pi}}{N} = -0,66, \bar{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_{wi}}{N} = -0,96$$

Задание 2

1. С помощью таблицы масс для таблицы 3.1 рассчитаем значения массы подвески m . Найденные значения занесем в таблицу 6.1:

Таблица 6.1

№ опыта	$m, \text{г}$	$a, \text{м/с}^2$	$T, \text{мН}$
1	1,9	0,17	18,34
2	2,9	0,28	27,68
3	3,8	0,40	35,80
4	4,6	0,42	43,25
5	5,2	0,53	48,33
6	6,0	0,63	55,17
7	7,0	0,64	64,26

2. Найдем массу M_1 и $F_{\text{тр}}$ тележки как коэффициент наклона и свободный член экспериментальной зависимости T от a по МНК:

$$M_1 = \frac{\sum (a_i - \bar{a})(T_i - \bar{T})}{\sum (a_i - \bar{a})^2} = 59,1 \text{ г}$$

$$F_{\text{тр}} = \bar{T} - M_1 \cdot \bar{a} = 2,87 \text{ мН}$$

3. Выполним расчеты пунктов 1, 2 для данных из таблицы 3.2, заполнив таблицу 6.2:

Таблица 6.2

№ опыта	m, г	a, м/с ²	T, мН
1	1,9	0,11	18,45
2	2,9	0,11	28,16
3	3,8	0,20	36,57
4	4,6	0,27	43,93
5	5,2	0,32	49,42
6	6,0	0,34	56,85
7	7,0	0,40	65,93

$$M_2 = \frac{\sum(a_i - \bar{a})(T_i - \bar{T})}{\sum(a_i - \bar{a})^2} = 105,1 \text{ } \epsilon$$

$$F_{TP} = \bar{T} - M_1 \cdot \bar{a} = 7,69 \text{ мН}$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Задание 1

1. По разбросу отдельных значений $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ для таблицы 4.1 найдем погрешности их средних значений:

$$\Delta \bar{\delta}_p = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{pi} - \bar{\delta}_p)^2}{N(N-1)}} = 0,05;$$

$$\Delta \bar{\delta}_w = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_{wi} - \bar{\delta}_w)^2}{N(N-1)}} = 0,05;$$

где $t_{\alpha, N} = 2,778$.

Доверительные интервалы:

$\bar{\delta}_p \in [0,01; 0,11]$, $\bar{\delta}_w \in [-0,23; -0,13]$.

2. По разбросу отдельных значений $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ для таблицы 4.2 найдем погрешности их средних значений:

$$\Delta \bar{\delta}_p = 0,12; \Delta \bar{\delta}_w = 0,10;$$

Доверительные интервалы:

$\bar{\delta}_p \in [-0,21; 0,03]$, $\alpha = P(\bar{\delta}_w \in [-0,50; -0,30])$.

3. По разбросу отдельных значений $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ для таблицы 5.1 найдем погрешности их средних значений:

$$\Delta \bar{\delta}_p = 0,06; \Delta \bar{\delta}_w = 0,05;$$

Доверительные интервалы:

$\bar{\delta}_p \in [-0,15; -0,03]$, $\bar{\delta}_w \in [-0,63; -0,53]$.

4. По разбросу отдельных значений $\bar{\delta}_p$, $\bar{\delta}_w$ для таблицы 5.2 найдем погрешности их средних значений:

$$\Delta\bar{\delta}_p = 0,07; \Delta\bar{\delta}_w = 0,02;$$

Доверительные интервалы:

$$\bar{\delta}_p \in [-0,73; -0,59], (\bar{\delta}_w \in [-0,98; -0,94]).$$

Задание 2

1. Расчёт погрешности для M1:

$$D = \sum(a_i - \bar{a}) = 0,18 \frac{M}{c^2}$$

$$\sum di^2 = \sum(T_i - (F_{тр} + M_1 \cdot a_i))^2 = 12,54$$

$$S_{M1}^2 = \frac{1}{D} * \frac{\sum di^2}{n-2} \approx 18,6 \text{ г}$$

$$\Delta M_1 = 2 * S_{M1} \approx 8,6 \text{ г}$$

2. Расчёт погрешности для M2:

$$D = \sum(a_i - \bar{a}) \approx 0,48 \frac{M}{c^2}$$

$$\sum di^2 = \sum(T_i - (F_{тр} + M_1 \cdot a_i))^2 \approx 6,34$$

$$S_{M1}^2 = \frac{1}{D} * \frac{\sum di^2}{n-2} \approx 2,3 \text{ г}$$

$$\Delta M_1 = 2 * S_{M1} \approx 3,0 \text{ г}$$

11. **Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).**

В соответствии со вторым законом Ньютона, если сила трения не изменяется во время эксперимента, то натяжение нити связано с ускорением линейной зависимостью: $T = Ma + F_{тр}$. Угловой коэффициент этой зависимости равен массе M тележки, а значение силы

натяжения при нулевом ускорении равно силе трения $F_{тр}$.

Пользуясь таблицей 6.1., нанесем экспериментальные точки на диаграмму T от a . Проведем аппроксимирующую прямую $\tilde{T}_1(a)$. Используя таблицу 6.2, построим на этой же диаграмме график зависимости T от a , проведя аппроксимирующую прямую $\tilde{T}_2(a)$.

12. **Окончательные результаты.**

13. **Выводы и анализ результатов работы.**

Сравнивая разницы $\bar{\delta}_w(\varepsilon) - \partial \bar{\delta}_w(\tau)$ из первого и второго эксперимента соответственно, с величиной $\bar{\delta}_w(\tau)$, видим, что присутствует разница в величинах. Она вызвана погрешностью в измерении. Табличные данные массы тележки без утяжелителя и с ним соответственно подходят под посчитанные экспериментальным путём значения: $M_1 = (50,0 \pm) \text{ гр}$; и $M_2 = (\pm) \text{ гр}$.

14. Контрольные вопросы.

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

Импульс системы тел сохраняется, когда сумма импульсов внешних сил, действующих на тело, равна 0.

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

Механическая энергия сохраняется при отсутствии внешних сил и сил сопротивления.

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

При отсутствии сил сопротивления - силы трения.

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

При упругом соударении тела будут отталкиваться, сохраняя суммарный импульс, а при неупругом соударении тела будут двигаться вместе в одном направлении с одной скоростью с уменьшением импульса.

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

Наличие сил трения сопровождается уменьшением скоростей тележек, кинетической энергии и механической, предотвращает сохранение импульса системы тел со временем.

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

При упругом соударении тела будут разлетаться, сохраняя суммарную кинетическую энергию, а при неупругом соударении тела будут двигаться в одном направлении с одной скоростью с уменьшением кинетической энергии.

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

Сила трения уменьшает кинетическую энергию тележек.

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

Направление зависит от соотношения масс тележек после соударения.

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 $T = Ma + F_{\text{тр}}$.

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

График может идти ниже начала координат, потому что ускорение будет положительно из-за того, что силой трения можно пренебречь.

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

Сила сопротивления воздуха будет пропорциональна квадрату скорости тележки. По направлению она будет противоположна движению тележки. Сила сопротивления воздуха уменьшает скорость тележки и сила натяжения нити будет меньше теоретической и, как следствие, график бы располагался ниже.