|  |  |
| --- | --- |
| Группа P3210, P3208 | К работе допущен |
| Студенты Караганов Павел, Рябов Георгий, Кузнецов Андрей | Работа выполнена |
| Преподаватель Агабабаев В.А. | Отчет принят |

**Рабочий протокол и отчет по  
лабораторной работе №1.03**

**Изучение центрального соударения двух тел. Проверка второго Закона Ньютона.**

**1. Цель работы.**

* Исследование упругого и неупругого центрального соударения тел на примере тележек, движущихся с малым трением.
* Исследование зависимости ускорения тележки от приложенной силы и массы тележки.

**2. Задачи, решаемые при выполнении работы.**

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.

**3. Объект исследования.**

1. Упругие и неупругие соударения тележек.
2. Движение тележки под действием постоянной силы.

**4. Метод экспериментального исследования.**

* Замер таких величин как: масса тележек, скорость тележек.

**5. Рабочие формулы и исходные данные.**

* - Значение относительного изменения *импульса* для абсолютно упругого соударения
* - Значение относительного изменения *кинетической энергии* для абсолютно упругого соударения
* – Среднее значение относительного изменения *импульса* для абсолютно упругого соударения
* - Среднее значение относительного изменения *кинетической энергии* для абсолютно упругого соударения
* – Погрешность среднего значения относительного изменения импульса для а. у. с.
* – Погрешность среднего значения относительного изменения импульса для а. н. с.
* - Экспериментальное значение относительного изменения механической энергии
* - Теоретическое значение относительного изменения механической энергии
* – Ускорение тележки
* – Сила натяжения нити

**6. 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 |

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

Изображение выглядит как диаграмма, Технический чертеж, зарисовка, План

Контент, сгенерированный ИИ, может содержать ошибки.

Рис. 1 Общий вид экспериментальной установки

1. Рельс с сантиметровой шкалой на лицевой стороне
2. Сталкивающиеся тележки
3. Воздушный насос
4. Источник питания 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. Результаты измерения величин во время центрального упругого соударения*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m1, г | m2, г | v10x, м/с | v1x, м/с | v2x, м/с |
| 1 | 53,4 | 50,09 | 0,52 | 0,07 | 0,32 |
| 2 | 0,55 | 0,07 | 0,33 |
| 3 | 0,53 | 0,07 | 0,48 |
| 4 | 0,52 | 0,07 | 0,32 |
| 5 | 0,52 | 0,07 | 0,48 |

Исходные данные:   
Средние скорости:

Импульсы:

Относительное изменение импульса:

Относительное изменение энергии:

*Таблица 2.* *Результаты измерения величин во время центрального упругого соударения с утяжелителем*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m1, г | m2, г | v10x, м/с | v1x, м/с | v2x, м/с |
| 1 | 53,4 | 101,0 | 0,54 | -0,10 | 0,22 |
| 2 | 0,53 | -0,08 | 0,19 |
| 3 | 0,51 | -0,10 | 0,31 |
| 4 | 0,47 | -0,11 | 0,10 |
| 5 | 0,51 | -0,10 | 0,18 |

*Таблица 3. Результаты измерения величин во время центрального неупругого соударения*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m1, г | m2, г | v10, м/с | v, м/с |
| 1 | 54,3 | 52,4 | 0,46 | 0,21 |
| 2 | 0,52 | 0,25 |
| 3 | 0,51 | 0,22 |
| 4 | 0,48 | 0,23 |
| 5 | 0,52 | 0,25 |

*Таблица 4.* *Результаты измерения величин во время центрального неупругого соударения с утяжелителем*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m1, г | m2, г | v10, м/с | v, м/с |
| 1 | 53,4 | 103,6 | 0,51 | 0,17 |
| 2 | 0,51 | 0,13 |
| 3 | 0,50 | 0,13 |
| 4 | 0,49 | 0,15 |
| 5 | 0,50 | 0,13 |

*Таблица 5.* *Результаты измерения величин во время движения тележки с шайбами на подвесе*

Масса тележки M1= 53,4 г

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | Состав гирьки | m, г | v1, м/с | v2, м/с |
| 1 | подвеска | 1,8 | 0,24 | 0,59 |
| 2 | подвеска + одна шайба | 2,6 | 0,32 | 0,68 |
| 3 | подвеска + две шайбы | 3,5 | 0,36 | 0,79 |
| 4 | подвеска + три шайбы | 4,3 | 0,36 | 0,83 |
| 5 | подвеска + четыре шайбы | 5,2 | 0,34 | 0,83 |
| 6 | подвеска + пять шайб | 6,0 | 0,46 | 1,08 |
| 7 | подвеска + шесть шайб | 6,9 | 0,44 | 1,12 |

Расчёт ускорения и силы натяжения:

*Таблица 6.* *Результаты измерения величин во время движения утяжелённой тележки с шайбами на подвесе*

Масса тележки M1= 104,2 г

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | Состав гирьки | m, г | v1, м/с | v2, м/с |
| 1 | подвеска | 1,8 | 0,18 | 0,44 |
| 2 | подвеска + одна шайба | 2,6 | 0,23 | 0,50 |
| 3 | подвеска + две шайбы | 3,5 | 0,23 | 0,54 |
| 4 | подвеска + три шайбы | 4,3 | 0,30 | 0,70 |
| 5 | подвеска + четыре шайбы | 5,2 | 0,31 | 0,73 |
| 6 | подвеска + пять шайб | 6,0 | 0,35 | 0,79 |
| 7 | подвеска + шесть шайб | 6,9 | 0,37 | 0,87 |

Расчёт ускорения и силы натяжения:

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

*.* Таблица 7. *Измерение импульса и потери энергии в 1 опыте*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | p10x, мН\*с | p1x, мН\*с | p2x, мН\*с | δp | δW |
| 1 | 27,77 | 3,74 | 16,03 | -0,29 | -0,63 |
| 2 | 29,37 | 3,74 | 16,53 | -0,31 | -0,65 |
| 3 | 28,30 | 3,74 | 24,04 | -0,02 | -0,21 |
| 4 | 27,77 | 3,74 | 16,03 | -0,29 | -0,63 |
| 5 | 27,77 | 3,74 | 24,04 | 0,00 | -0,18 |
|  | | | Средние значения | **-0,18** | **-0,46** |
| Доверительные интервалы | **0,19** | **0,30** |

Относительное изменение импульса:

Относительное изменение энергии:

Среднее значение относительного изменения импульса:

Среднее значение относительного изменения кинетической энергии:

Таблица 8. *Измерение импульса и потери энергии в 2 опыте*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | p10x, мН\*с | p1x, мН\*с | p2x, мН\*с | δp | δW |
| 1 | 28,84 | -5,34 | 22,22 | -0,41 | -0,65 |
| 2 | 28,30 | -4,27 | 19,19 | -0,47 | -0,73 |
| 3 | 27,23 | -5,34 | 31,31 | -0,05 | -0,26 |
| 4 | 25,10 | -5,87 | 10,10 | -0,83 | -0,86 |
| 5 | 27,23 | -5,34 | 18,18 | -0,53 | -0,73 |
|  | | | Средние значения | **-0,46** | **-0,65** |
| Доверительные интервалы | **0,35** | **0,28** |

Таблица 9. *Измерение импульса и потери энергии в 3 опыте*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | p10, мН\*с | p, мН\*с | δp |  |  |
| 1 | 24,98 | 22,35 | -0,11 | -0,59 | -0,49 |
| 2 | 28,24 | 26,61 | -0,06 | -0,55 |
| 3 | 27,69 | 23,42 | -0,15 | -0,64 |
| 4 | 26,06 | 24,48 | -0,06 | -0,55 |
| 5 | 28,24 | 26,61 | -0,06 | -0,55 |
|  | | Средние значения | **-0,09** | **-0,58** |
| Доверительные интервалы | **0,05** | = **0,05** |

Среднее значение относительного изменения импульса:

Среднее значение относительного изменения кинетической энергии:

Экспериментальное значение относительного изменения механической энергии:

Таблица 10. *Измерение импульса и потери энергии в 4 опыте*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № опыта | p10, мН\*с | p, мН\*с | δp |  |  |
| 1 | 27,23 | 26,69 | -0,02 | -0,67 | -0.66 |
| 2 | 27,23 | 20,41 | -0,25 | -0,81 |
| 3 | 26,70 | 20,41 | -0,24 | -0,80 |
| 4 | 26,17 | 23,55 | -0,10 | -0,72 |
| 5 | 26,70 | 20,41 | -0,24 | -0,80 |
|  | | Средние значения | **-0,17** | **-0,76** |
| Доверительные интервалы | **0,13** | **0,08** |

*Таблица 11. Измерения значения ускорения тележки под действием силы натяжения нити*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m, г | a, м/с2 | T, мН |
| 1 | 1,8 | 0,22 | 17,3 |
| 2 | 2,6 | 0,28 | 24,8 |
| 3 | 3,5 | 0,38 | 33,0 |
| 4 | 4,3 | 0,43 | 40,4 |
| 5 | 5,2 | 0,44 | 48,8 |
| 6 | 6,0 | 0,73 | 54,5 |
| 7 | 6,9 | 0,82 | 62,1 |

Для массы подвеса равной 1,8 г получено:

*Таблица 12. Измерения значения ускорения утяжеленной тележки под действием силы натяжения нити*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № опыта | m, г | a, м/с2 | T, мН |
| 1 | 1,8 | 0,12 | 17,5 |
| 2 | 2,6 | 0,15 | 25,1 |
| 3 | 3,5 | 0,18 | 33,7 |
| 4 | 4,3 | 0,31 | 40,9 |
| 5 | 5,2 | 0,34 | 49,3 |
| 6 | 6,0 | 0,39 | 56,6 |
| 7 | 6,9 | 0,48 | 64,4 |

*Таблицы 13 и 14. Расчёты линейной зависимости между силой натяжения нити и ускорением тележки, полученные с помощью МНК, для 5-ого и 6-ого опытов*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **68,2 г** | 1 | **8,0 мН** |
|  | 119,3 |  | 31,6 |
|  | 7,7 |  | 5,6 |
|  | **28,1** |  | **14,5** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **114,1 г** |  | **9,0 мН** |
|  | 137,2 |  | 12,9 |
|  | 11,7 |  | 3,6 |
|  | **30,1** |  | **9,2** |

Расчёты для опыта 5:

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

Погрешности средних значений относительного изменения импульса и кинетической энергии для первого опыта (погрешности для 2, 3 и 4 опытов находятся по тем же формулам):

**11. Графики.**

*График 1. Линейная зависимость между силой натяжения нити и ускорением для тележки без утяжелителя и с ним*

**12. Окончательные результаты.**

Все погрешности представлены для доверительной вероятности α = 0,95 при коэффициенте Стьюдента t₀,₉₅,₅ = 2,78

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



Теоретическое значение относительного изменения механической энергии

Масса неутяжеленной тележки и доверительный интервал этой величины

Масса утяжеленной тележки и доверительный интервал этой величины

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

1. **Закон сохранения импульса и энергии (Упругое соударение):**
   * **Для двух легких тележек (Опыт 1):**
     + **Импульс:**
     + Доверительный интервал (от -0,37 до +0,01) включает ноль, что формально подтверждает закон сохранения импульса в пределах погрешности измерений. Однако средняя потеря составляет около 18%.
     + **Энергия**:
     + Потери энергии составили 46%, что очень много для "упругого" удара. Это указывает на то, что в реальности соударение было далеко от идеально упругого (наличие остаточной деформации или значительное трение).
   * **Для легкой и утяжеленной тележки (Опыт 2):**
     + **Импульс:**

Наблюдается значительная потеря импульса (46%). Даже с учетом большой погрешности закон выполняется плохо.

* + - **Энергия**:
    - Потери энергии достигли 65%. Это подтверждает вывод о том, что реальный процесс столкновения в данной установке сопровождается большими трение и остаточную деформацию.

1. **Неупругое соударение (Сравнение с теорией):**
   * **Для двух легких тележек (Опыт 3):**
     + **Эксперимент**:
     + **Теория:**
     + Теоретическое значение не попадает в доверительный интервал экспериментального. Экспериментальные потери энергии оказались выше теоретических на ~9%, что объясняется работой сил трения скольжения во время сцепки тележек.
   * **Для легкой и утяжеленной тележки (Опыт 4):**
     + **Эксперимент:**
     + **Теория:**
     + Здесь также экспериментальные потери превышают теоретические на ~10%, что вновь указывает на влияние неучтенных сил сопротивления.
2. **Проверка второго закона Ньютона (Метод МНК):**
   * **Масса лёгкой тележки (M1):**
     + Рассчитано по графику:
     + Реальное значение (взвешивание): .
     + Реальное значение (53,4) попадает в доверительный интервал (40,1 … 96,3). Второй закон Ньютона выполняется. Завышенное среднее значение массы может объясняться влиянием момента инерции вращающихся колес ("динамическая добавка" к массе).
   * **Масса утяжеленной тележки (M2):**
     + Рассчитано по графику:
     + Реальное значение (взвешивание): .
     + Реальное значение попадает в доверительный интервал. Второй закон Ньютона подтвержден.
   * **Сила трения:**
     + Методом наименьших квадратов была оценена сила трения в системе, которая составила порядка
3. **Основные причины расхождений:**
   * **Неидеальность упругого удара:** Очень высокие потери энергии в опытах 1 и 2 свидетельствуют о том, что пружинящие буферы тележек поглощают часть энергии.
   * **Сила трения:** В обоих случаях неупругого удара потери энергии оказались выше теоретических, что объясняется работой против сил трения (которые мы оценили в ~9 мН).
   * **Погрешности измерений:** В опытах с упругим ударом наблюдается очень большой разброс данных (широкие доверительные интервалы), что связано с чувствительностью метода к малым изменениям скоростей и сложностью фиксации точных значений на коротких промежутках времени.

**14. Дополнительные задания.**

**15. Выполнение дополнительных заданий.**

**16. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).**

|  |  |
| --- | --- |
| ***Примечание:*** | 1. *Пункты 1-6,8-13 Протокола-отчета* ***обязательны*** *для заполнения.* |
|  | 1. *Необходимые исправления выполняют непосредственно в протоколе-отчете.* |
|  | 1. *При ручном построении графиков рекомендуется использовать миллиметровую бумагу.* |
|  | 1. *Приложения 1 и 2 вкладывают в бланк протокола-отчета.* |