

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 136. ПРОВЕРКА III ЗАКОНА НЬЮТОНА В ПРОЦЕССЕ УДАРА

---

## *Введение*

**Третий закон Ньютона:** Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

**Ударом** называется столкновение тел, при котором за малый промежуток времени происходит значительное изменение скоростей тел. Промежуток времени, в течение которого длится удар, обычно составляет  $10^{-3}$ – $10^{-6}$  с, а развивающиеся на площадках контакта соударяющихся тел силы (называемые ударными или мгновенными) весьма велики по сравнению с внешними действующими на тела силами.

Удар называется **центральный**, если в момент удара центры инерции сталкивающихся тел находятся на линии удара. Удар называется **прямым**, если скорости центров инерции сталкивающихся тел перед ударом направлены параллельно линии удара. В противном случае, удар называется **косым**. При этом, **линией удара** называется общая нормаль, проведенная к поверхностям двух соударяющихся тел в месте их соприкосновения при ударе.

Удар двух тел называется **абсолютно упругим**, если после этого удара механическая энергия системы остается такой же, как и до удара. Абсолютно упругий удар – идеализация, несуществующая в природе.

Удар двух тел называется **абсолютно неупругим**, если после удара оба тела движутся, как одно целое. В отличие от абсолютно упругого, абсолютно неупругий удар встречается часто.

---

## *Приступая к работе необходимо*

### **Знать определения**

инерциальной и неинерциальной систем отсчёта;  
массы тела;  
силы;  
кинетической энергии системы материальных точек.

### **Знать**

формулировки и границы применения законов Ньютона для динамики материальной точки.

### **Уметь**

измерять расстояния с помощью линейки и рулетки;

горизонтировать установку по жидкостному уровню;  
определять массу взвешиванием;  
запускать программы в среде Windows и пользоваться стандартными элементами их интерфейса (меню, контекстные меню, окна и т.д.);

---

### **Цель работы**

Экспериментальная проверка третьего закона Ньютона при упругом соударении тел на воздушном треке.

---

### **Решаемые задачи**

- ✓ приобрести навыки использования воздушного трека и видеорегистратора для определения кинематических характеристик прямолинейного движения;
- ✓ пронаблюдать изменение кинематических характеристик прямолинейного движения двух тележек при их столкновении;
- ✓ исследовать зависимость возникающей при столкновении силы от масс тележек;

---

### **Экспериментальная установка**

#### **Приборы и принадлежности:**

- ✓ Воздушный трек (1), оборудованный удерживающим электромагнитом (2) и стопором (3);
- ✓ Две тележки для воздушного трека (4), оборудованные торцевой пружиной (тележка №1) и торцевой планкой (тележка №2) – см. рис. 2;
- ✓ Видеорегистратор (5) на треноге (6) с блоком питания (7);
- ✓ Нагнетатель воздуха (8) с регулятором мощности (9);
- ✓ Наборы грузов: из пластмассы массой по 1 г; стальных массой по 100 г (10);
- ✓ Персональный компьютер с установленной программой “VideoCom Motions” (11).

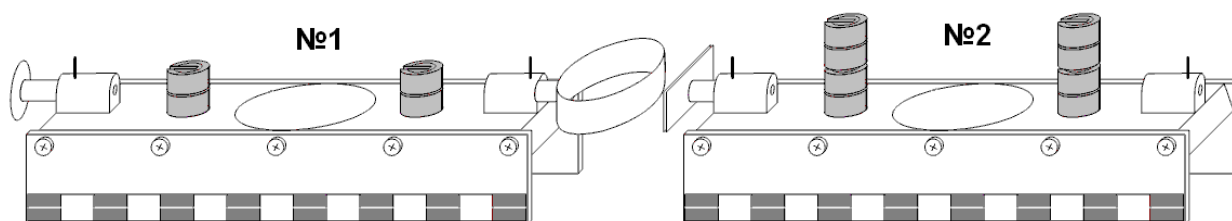


Рис.2 Внешний вид тележек, используемых в данной работе.

В данной установке тележки двигаются по поверхности воздушного трека, при этом за счёт нагнетаемого в воздушный трек воздуха между тележками и поверхностью трека создается тонкая воздушная прослойка, которая существенно уменьшает силу трения, действующую на тележки. Укреплённые на видеорегистраторе светодиоды мигают с частотой до 80 раз в секунду. Их свет, отражаясь от фольги, прикрепленной к тележкам, возвращается к видеорегистратору и через объектив попадает на линейку светочувствительных элементов – ПЗС-матрицу. Состояния светочувствительных элементов считываются компьютером в режиме реального времени с частотой миганий светодиодов. Таким образом, видеорегистратор позволяет определять местоположение кусочков светоотражающей фольги в моменты световых вспышек. По этим данным компьютер, проводя численное дифференцирование, рассчитывает скорость и ускорение тележек.

---

*Порядок выполнения работы:*

**1. Подготовка установки для проведения экспериментов.**

1. Используя пузырьковый уровень, проверьте горизонтальность воздушного трека. При необходимости добейтесь горизонтальности, отрегулировав регулировочные винты на опорах трека.
2. Поместите тележку посередине воздушного трека. Подключите к воздушному треку шланг от нагнетателя воздуха. Регулятор мощности

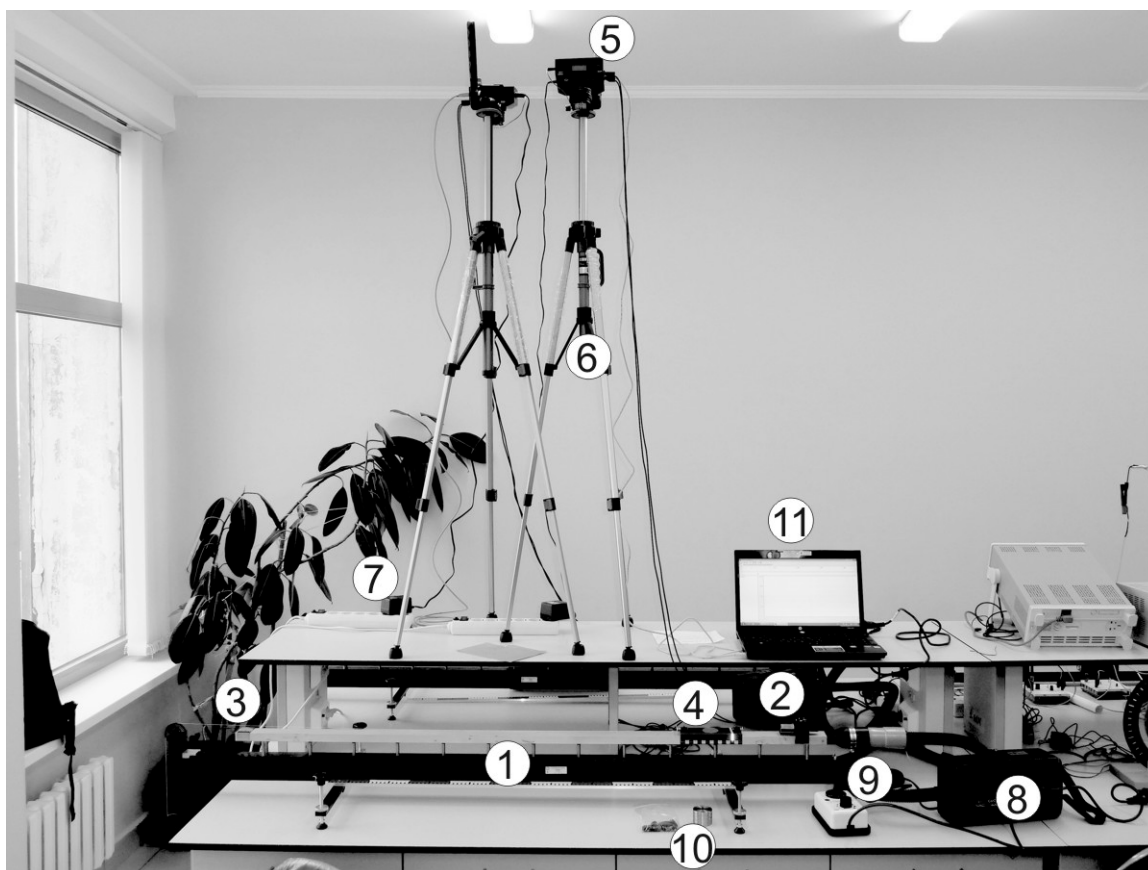





Рис.1 Внешний вид установки




нагнетая воздуха подключите к сети 220 В. Плавно поворачивая ручку регулятора мощности, добейтесь того, чтобы тележка приподнялась над поверхностью воздушного трека – обычно это происходит, когда указатель ручки регулятора находится около цифры 3. Если при этом тележка начнёт двигаться вдоль воздушного трека, то отрегулируйте его горизонтальность, добиваясь того, чтобы тележка оставалась в покое в любой точке трека.

3. Включите персональный компьютер. Подключите блок питания видеорегистратора к сети 220 В, а после этого подключите кабель USB, идущий от видеорегистратора, к персональному компьютеру. Запустите программу “VideoCom Motions”. Если вкладки откроются на немецком языке, для перехода на английский нажмите F5, далее вкладку Allgemein, Затем Sprach и выберете English, затем Ok;
4. Проверьте настройки видеорегистратора. Для этого нажмите кнопку  или клавишу F5 и выберите вкладку “Measuring parameters”. Настройки должны быть следующими:


t	12.5 ms (80 fps)
Flash	Auto
Smoothing Minimum	(2*dt)
Stop measurement	Via Start/Stop Key

5. При необходимости измените параметры на указанные выше и нажмите на кнопку “Ok”.
6. Выберите в программе “VideoCom Motions” вкладку “Intensity Test” – на ней в режиме реального времени отражается считываемая информация со светочувствительных элементов видеорегистратора. По оси абсцисс этого графика отложены числа от 0 до 4000 – это номера светочувствительных элементов в линейке. По оси ординат отложены значения интенсивности света, считываемые с этих элементов. При установленной на треке одной тележке график на этой вкладке должен содержать один узкий и высокий пик, положение которого изменяется при движении тележки по треку. Передвигая тележку по треку, определите область, которая наблюдается видеорегистратором.
7. Очистите буфер данных программы “VideoCom Motions” – для этого нажмите кнопку  или клавишу F4. Появится окно, в котором вам будет предложено сохранить текущие результаты – в данном случае сохранять пока нечего, поэтому нажмите кнопку “No”.
8. Для того чтобы программа автоматически переводила номер светочувствительного элемента  $i$  в ПЗС-линейке в положение тележки на треке  $x_i$ , необходимо откалибровать видеорегистратор: сопоставить номера двух конкретных номеров двум положениям светоотражающей полоски. Для этого откройте в программе вкладку Path и нажмите кнопку  или клавишу F5 – откроется окно с настройками видеорегистратора. Выберите вкладку “Path Calibration” и установите тележку на краю об-

ласти, которая наблюдается видеореги́стратором. Во вкладке Path сверху экрана будет показана тележка и её положение в пикселях видеореги́стратора  $i_n$ . В окне “Path Calibration” в поле 1-st position (левое верхнее) введите  $x_n$  (например, 0), а в поле corresponds to (правое верхнее) -  $i_n$ . Затем, установите тележку на расстоянии 0.5 м от первого положения и считайте с экрана число  $i_k$ . В окне “Path Calibration” в поле 2-st position (левое нижнее) введите число  $x_k = x_n + 0.5$  или  $x_k = x_n - 0.5$  в зависимости от выбора вами ориентации оси системы координат, а в поле corresponds to (правое нижнее) -  $i_k$ . Поставьте галочку возле “Apply calibration” и нажмите на кнопку “Ok”. Вверху экрана значение  $i_k$  изменится на  $x_k$  и поменяются значения меток на шкале. Закройте окно настроек.

9. Поставьте тележку №1 вблизи границы видимости видеореги́стратора, а тележку №2 примерно в центре воздушного трека (торцевая пружина и планка на тележках должны быть ориентированы друг к другу, как на рис. 2). Затем нажмите кнопку  или клавишу F9 - программа “VideoCom Motions” начнёт записывать и отображать график зависимости координат тележек от времени  $x(t)$  (вкладка Path программы “VideoCom Motions”). Толкните тележку №1 рукой в сторону тележки №2. После столкновения, дождитесь, когда тележки выйдут за пределы видимости видеореги́стратора, остановите измерения, повторно нажав кнопку  или клавишу F9. Подбирая начальное положение тележек, а также силу, с которой вы толкаете тележку №1, добейтесь того, чтобы момент столкновения тележек приходился на середину графика  $x(t)$ , а время движения тележек до и после столкновения было больше чем длительность удара. Между измерениями рекомендуется очищать буфер данных программы “VideoCom Motions” – для этого нажмите кнопку  или клавишу F4.

### **Упражнение 1. Исследование столкновения тел равной массы.**

10. Путем установки пластиковых грузиков массой по 1 г на тележки №1 и №2, добейтесь того, чтобы масса каждой из тележек была около 100 г (с точностью до 0,5 г). Запишите массу укомплектованных тележек –  $m_1$  и  $m_2$ .
11. Запустите измерения и запишите график зависимости координаты тележки от времени  $x(t)$ . При необходимости отмасштабируйте график так, чтобы экспериментальные точки занимали максимально большую площадь графика - это делается через нажатие правой кнопки мыши в произвольной точке графика и вызове пунктов меню “Zoom” и “Zoom Off”.
12. Сохраните полученные данные в файл – для этого нажмите кнопку  или клавишу F2. Далее следуйте Памятке сохранения файлов (спросить у инженера).

13. Выберите в программе “VideoCom Motions” вкладку “Velocity” (скорость) – Вы увидите графики зависимости скорости движения тележки от времени. Эти графики строятся на основе экспериментальных данных зависимости координаты тележки от времени по следующей формуле:


$$v(t) = \frac{x(t + \Delta t) - x(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

муле: , где  $\Delta t$  - время между двумя последовательными измерениями координат.

14. Выберите в программе “VideoCom Motions” вкладку “Acceleration” (ускорение) – вы увидите графики зависимости ускорения тележки от времени. Эти графики строятся на основе экспериментальных данных

$$a(t) = \frac{v(t + \Delta t) - v(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

скорости от времени по следующей формуле:

15. Для того чтобы построить в программе “VideoCom Motions” график зависимости силы, действующей на каждую из тележек, как функцию времени, нажмите кнопку  или клавишу F5 – откроется окно с настройками программы. Выберите вкладку “Formula” и введите следующие параметры:

Quantity:	Сила
Minimum:	-500
Maximum:	+500
Symbol:	F
Unit:	мН
Formulas:	m1*a1 m2*a2 m1*a1+m2*a2


16. Нажмите кнопку “Ok”. В основном окне программы “VideoCom Motions” выберите вкладку “Сила”. Вы увидите 3 графика: сила, действующая на тележки №1 и №2 (черная и красная линии), а также сумма сил (синяя линия). При необходимости, отмасштабируйте график так, чтобы момент столкновения тележек приходился на середину графика  $x(t)$ , а время движения тележек до и после столкновения было больше чем длительность удара - это делается через нажатие правой кнопки мыши в произвольной точке графика и вызове пунктов меню “Zoom” и “Zoom Off”. Также изменить масштаб можно в окне с настройками программы на вкладке “Formula” – параметры Minimum и Maximum. Сохраните полученные данные, следуя Памятке сохранения файлов (спросить у инженера).

### **Упражнение 2. Исследование столкновения тел с разной массой.**

17. Закрепите на тележке №1 три стальных груза массой по 100 г. Массу тележки №2 оставьте около 100 г. Взвесьте и запишите массу укомплектованных тележек  $m_1$  и  $m_2$ .
18. Повторите пункты (10)-(14) для такой комбинации тележек.

19. Массу тележки №1 верните к 100 г. Закрепите на тележке №2 три стальных груза массой по 100 г. Взвесьте и запишите массу укомплектованных тележек  $m_1$  и  $m_2$ .
20. Повторите пункты (10)-(14) для такой комбинации тележек.

**Окончание эксперимента.**

21. Повернув ручку регулятора воздушного потока, уменьшите величину потока до минимума;
22. Скопируйте себе на электронный носитель информации сохранённые Вами файлы, а также установочный файл программы “VideoCom Motions” (спросить у инженера). Установив её на домашнем компьютере, вы сможете использовать её для анализа ваших данных, полученных в ходе выполнения работы. Для того чтобы загрузить ваши данные в программу “VideoCom Motions”, нажмите кнопку  или клавишу F3 и выберите файл с данными.
23. Закончите сеанс работы с Windows и выключите компьютер, а затем отключите все приборы от сети 220 В.

---

***Обработка и представление результатов***

24. Данные измерений представьте в виде графиков  $x(t)$ ,  $v(t)$ ,  $a(t)$ ,  $F(t)$ , разместив их рядом на одной странице. Укажите измеренные значения масс тележек.
25. Представьте свои выводы о полученных результатах.

Замечание: Для того чтобы вставить график из программы “VideoCom Motions” в файл текстового редактора, наведите указатель мыши на нужный график и нажмите на правую кнопку мыши – появится меню, в котором выберите раздел “Copy Diagram”, а затем пункт меню “Metafile”. Перейдите в текстовый редактор и вставьте график, нажав клавиши Ctrl-V.

**Казанский (Поволжский) федеральный университет**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО МЕХАНИКЕ**

**КАЗАНЬ 2014**



# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ

(Учебно-методическое пособие  
для студентов естественнонаучных направлений обучения)

авторы пособия:

доцент кафедры общей физики *Скворцов А.И.*  
доцент кафедры общей физики *Налётов В.В.*  
доцент кафедры общей физики *Мухамедшин И.Р.*  
доцент кафедры общей физики *Недопекин О.В.*  
ассистент кафедры общей физики *Лысогогорский Ю.В.*  
ассистент кафедры общей физики *Ирисова И.А.*  
инженер кафедры общей физики *Староверов А.Е.*

Рецензент:

профессор кафедры общей физики КФУ *Филиман А.И.*,

В пособии описана методика постановки работ общего физического практикума по разделу механика курса общей физики. Пособие предназначено для студентов всех естественнонаучных направлений обучения.

© Институт физики Казанского университета.