



Второй закон Ньютона

Цель работы

Целью работы является демонстрация зависимостей ускорения тела от приложенной к нему силы и ускорения тела от его массы.

Метод экспериментального исследования явления

В работе экспериментально проверяется утверждение о том, что в инерциальной системе отсчета ускорение тела прямо пропорционально силе, приложенной к телу, и обратно пропорционально его массе, т. е. справедливость второго закона Ньютона. Одновременные измерения силы, действующей на тележку, и ее ускорения производятся с помощью датчиков ускорения и силы.

Теория

Материальной точкой называется обладающее массой тело, размерами и формой которого можно пренебречь. Материальная точка является простейшей физической моделью в механике.

Инерциальной системой отсчета называется такая система отсчета, относительно которой любая изолированная от внешних воздействий материальная точка либо покоится, либо сохраняет состояние равномерного прямолинейного движения.

Масса является количественной характеристикой инертных свойств тела. Она показывает, как тело реагирует на внешние воздействия.

Сила — это количественная мера действия одного тела на другое.

Ускорение — это векторная физическая величина, равная производной скорости движения тела по времени. Направление ускорения совпадает с векторной разностью скоростей тела в соседние моменты времени.

Согласно второму закону Ньютона в инерциальной системе отсчета ускорение материальной точки прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к ней, и обратно пропорционально ее массе (инертной массе) и по направлению совпадает с силой.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Математически этот закон можно записать в виде формулы $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ где a — ускорение материальной точки; F — равнодействующая сила, приложенная к материальной точке; m — масса материальной точки, или в виде общеизвестной формулы С точки зрения экспериментальной проверки справедливости второго закона Ньютона необходимо обращать внимание на требование пропорциональности ускорения тела равнодействующей всех действующих на него сил, включая силы реакции. Например, при перемещении тележки по горизонтальному столу под воздействием силы F ускорение тележки будет пропорционально разности между силой F и силой трения, также действующей на тележку со стороны стола и воздуха. Силу трения можно минимизировать, используя легкую тележку на свободно крутящихся колесах (или используя тележку на магнитной подвеске) и перемещая ее с небольшой скоростью, но забывать о воздействии других сил нельзя.

При использовании тела конечных размеров в отличие от материальной точки необходимо рассматривать точки приложения сил и их направления по отношению к центру масс тела. Если линии действия всех сил (линии, проходящие вдоль направлений сил) проходят через центр масс тела, то это тело можно рассматривать как материальную точку с положением в центре масс. В противном случае применять второй закон Ньютона ко всему телу нельзя. Например, воздействие касательной силы на обод колеса, стоящего на земле, приводит к его вращению и перемещению его центра масс с ускорением, не равным отношению силы к массе всего колеса.

Контрольные вопросы

1. Как сила и ускорение тела связаны между собой?
2. Почему второй закон Ньютона справедлив только в инерциальных системах отсчета?
3. Почему во втором законе Ньютона рассматривается материальная точка? Будет ли второй закон Ньютона справедлив для любого тела?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик ускорения +/-5g:

Датчик силы:

Тележка на магнитной подвеске с направляющим рельсом.

Набор грузов массой 50–200 г.



Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Весь цикл измерений может быть проведен за 5–10 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 15–20 мин.

Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить величину силы с точностью до 0,05 Н, а ускорение — с точностью до 0,5 м/с².

Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик ускорения и датчик силы) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Направляющий рельс следует устанавливать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

Монтаж и настройка

Направляющий рельс устанавливается на демонстрационном столе горизонтально (вдоль длинной стороны стола). Боковая стенка рельса должна быть обращена к учащимся. К тележке на магнитной подвеске прикрепляется с помощью двухсторонней липкой ленты датчик ускорения. Датчик ускорения должен быть установлен так, чтобы тележка перемещалась вдоль направления, указанного на датчике. Тележка с прикрепленным к ней датчиком ускорения присоединяется к крючку датчика силы.

Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование.

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите датчик силы к аналоговому входу системы сбора данных.

Подключите датчик ускорения к аналоговому входу системы сбора данных



Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Определите массу тележки с прикрепленным к ней датчика ускорения. Для этого подвесьте тележку с датчик ускорения к крючку вертикально расположенного датчика силы, измерьте их вес и вычислите значение массы. Введите это значение массы.

Поместите тележку на рельс. Убедитесь, что она неподвижна.

Возьмитесь за крючок датчика силы. В течение нескольких секунд передвигайте тележку вперед-назад по рельсу. Изменяйте движение тележки, прилагая разную по величине силу. Следите за тем, чтобы ваша рука касалась только крючка датчика силы, но не корпуса датчика или датчик ускорения. Во время проведения эксперимента на экран дисплея выводится график измеренной зависимости ускорения тележки от приложенной к ней силы. Текущие показания датчик ускорения отображаются в поле **Ускорение**, а текущие показания динамометра — в поле **Сила**.

Внимание! При выполнении измерений держите датчик силы горизонтально, не допускайте перекаса. Продольная ось динамометра должна быть все время направлена вдоль рельса.

Остановите измерения, нажав кнопку **Стоп**. Вывод данных на график зависимости ускорения от силы автоматически прекращается, на измеренную зависимость накладывается аппроксимирующая ее линия. Одновременно рассчитывается масса тележки с датчик ускорения, полученное значение заносится в ячейку.

Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на форму экспериментально полученной зависимости ускорения от величины приложенной силы, она должна иметь линейный вид: ускорение тела пропорционально приложенной к нему силе.

Объясните, что угол наклона графика зависимости ускорения от силы обратно пропорционален массе тележки с акселерометром. Сравните измеренное значение массы тела с теоретическим значением, рассчитанным автоматически.

Обратите внимание учащихся на совпадение знаков величин ускорения и силы.

Повторные измерения

Проведите несколько опытов, устанавливая на тележку грузы разной массы.

Справка

Принцип работы датчика ускорения.

Датчик ускорения, используемый в данной работе, изначально разрабатывался для управления срабатыванием подушек безопасности в автомобиле при ударе. Конструктивно датчик является микроскопической электромеханической системой (MEMS), упакованной для удобства использования в форму интегральной микросхемы. Система представляет собой пластинку кремния с выгравированными на ее поверхности тонкими «пальцами» микронных размеров. Эти «пальцы» упорядочены и связаны в виде обкладок конденсатора. При ускорении пластинки кремния они начинают сгибаться, что приводит к изменению емкости конденсатора. Встроенная электронная схема преобразует движение в напряжение на выходе системы. После этого сигнал усиливается, фильтруется и поступает на выход датчика.

Поскольку у созданных из «пальцев» обкладок конденсатора есть выделенное направление, акселерометр измеряет ускорение только вдоль линии, отмеченной стрелкой на поверхности датчика. Имейте это в виду, устанавливая датчик!

Акселерометр имеет высокую чувствительность, позволяя измерять ускорение менее 1 м/с^2 . Падение датчика на твердый пол с высоты даже нескольких сантиметров может привести к ускорению в $100g$ и более. Помните, что акселерометр может выйти из строя при измерении ускорения свыше $1000g$! Не бросайте датчик, используйте его бережно.

Кроме того, акселерометр «чувствует» притяжение Земли. С его помощью можно измерить ускорение свободного падения. Эту возможность можно использовать для калибровки датчика (при необходимости), а также для измерения углов (отклоняя датчик от вертикали до горизонтали).



Принцип работы датчика силы.

Датчик силы предназначен для прямого измерения прилагаемой к его крючку силы.

Датчик имеет пьезорезистивный полупроводниковый чувствительный элемент, изменение сопротивления которого прямо пропорционально прилагаемой силе. Измерение проводится по хорошо известной балансной мостовой схеме, в одной из плеч которой стоит пьезорезистивный чувствительный элемент, в остальных — обычные сопротивления равных номиналов. При нагрузке датчика происходит деформация (изгиб) чувствительного элемента, которая приводит к изменению его сопротивления и, как следствие, к появлению напряжения на выходе датчика, которое пропорционально приложенной силе. Питание датчика осуществляется через систему сбора данных напряжением +5 В.