



## Измерение силы трения

### Цель работы

- измерение силы трения покоя и силы трения скольжения;
- определение коэффициента трения покоя и коэффициента трения скольжения.

### Метод экспериментального исследования явления

Работа состоит из двух частей. В первой части работы изучается трение покоя. Тело (брусок) располагается на ровной горизонтальной поверхности (на столе). С помощью датчика силы, прикрепленного к бруску, измеряется минимальная сила, приводящая брусок в движение. Итогом измерений, проведенных в этой части работы, является определение максимального значения силы трения покоя, а также коэффициента трения покоя. Во второй части работы изучается трение скольжения.

Брусок помещается на ровную горизонтальную поверхность (на стол). Ударом бруску сообщается некоторая начальная скорость, после чего он начинает равнозамедленно скользить вдоль стола.

Ускорение бруска измеряется с помощью закрепленного на нем датчика ускорения.

По измеренному значению ускорения определяются сила трения скольжения бруска о поверхность стола и коэффициент трения скольжения.

### Теория

*Силы трения* возникают при соприкосновении поверхностей твердых тел. Главная особенность сил трения, отличающая их от гравитационных сил и сил упругости, состоит в том, что силы трения зависят не от координат тел, а от скорости движения тел относительно друг друга.

Трение между поверхностями соприкасающихся твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки называется сухим трением. Сухое трение подразделяется на трение покоя и трение скольжения. Сила трения, возникающая между поверхностями твердых тел, неподвижных относительно друг друга, называется силой *трения покоя*. Величина силы трения покоя изменяется от нуля до некоторого максимального значения. Сила трения скольжения возникает при движении одного твердого тела по поверхности другого. Она всегда направлена противоположно относительной скорости движения тел.

Законы сухого трения, сформулированные Ш. Кулоном и Г. Амонтоном, имеют следующий вид:

1. силы трения скольжения  $F_{\text{тр}}$  пропорционален модулю силы нормального давления  $N$ :  $F_{\text{тр}} = \mu N$ ;
2. коэффициент трения  $\mu$  не зависит от площади соприкасающихся поверхностей и от относительной скорости движения тел;
3. максимальное значение силы трения покоя равно силе трения скольжения.

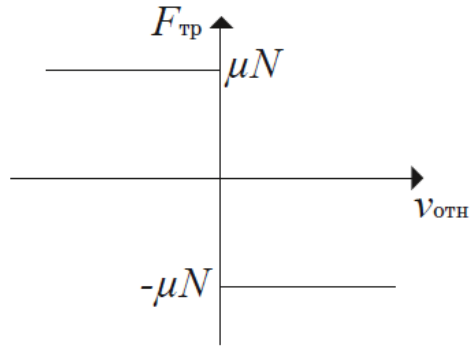
Эти законы лежат в основе простейшей модели сухого трения, используемой при решении практически всех школьных задач. Соответствующая этой модели зависимость проекции силы трения на координатную ось, параллельную соприкасающимся поверхностям, от относительной скорости движения тел изображена на рисунке.

Опыт показывает, что для большинства пар трущихся поверхностей модуль силы трения скольжения несколько меньше, чем максимальное значение силы трения покоя.

Кроме того, коэффициент трения скольжения сложным образом зависит от относительной скорости движения трущихся тел. Однако при малых относительных скоростях движения тел этой зависимостью обычно можно пренебречь.

Для определения силы трения скольжения, действующей на тело известной массы  $m$  при его скольжении по горизонтальной поверхности, достаточно измерить ускорение  $a$  тела. Согласно второму закону Ньютона  $ma = F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

Отсюда коэффициент трения скольжения  $\mu = a/g$ .



Зависимость силы трения от относительной скорости движения тел

### Контрольные вопросы

1. Какие виды трения вы знаете?
2. При каких условиях возникают силы трения и как они направлены?
3. Какие силы трения действуют на человека, бегущего по горизонтальной дороге?
4. Приведите примеры, где трение может быть полезным. Какие способы увеличения силы трения вы знаете?
5. В каких случаях трение может быть вредным? Как можно уменьшить силу трения?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик силы;

Датчик ускорения

Брусок массой 50–100 г с крючком.

**Примечание.** Вместо бруска можно использовать тележку на магнитной подвеске.

Набор грузов общей массой 200–300 г.

Пружина с малым коэффициентом упругости (5 – 15 Н/м).

Весы с разновесом.

Липкая лента или двухсторонний скотч.



### Параметры экспериментальной установки

#### Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести два-три опыта для брусков разной массы. Весь цикл измерений может быть проведен за 3–5 мин. На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

#### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить величину силы трения покоя с точностью до 0,01 Н, ускорение с точностью до 0,2 м/с<sup>2</sup>, коэффициенты трения покоя и трения скольжения с точностью до 10%.



## 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, датчики силы и ускорения) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

## Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Опыт следует проводить 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

Брусочек (или тележка на магнитной подвеске) располагается на горизонтальной поверхности демонстрационного стола. К брусочку прикрепляется с помощью липкой ленты или двухстороннего скотча датчик ускорения. Датчик ускорения должен быть установлен так, чтобы ось датчика, вдоль которой производится измерение ускорения (отмеченная стрелкой на его верхней панели), была совмещена с продольной осью брусочка. Провод датчика силы располагается таким образом, чтобы он не мешал движению брусочка.

## Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля.

Подключите датчик силы и датчик ускорения к аналоговым входам системы сбора данных.

## Методика выполнения эксперимента

### Проведение измерений

Взвесьте брусочек с прикрепленным к нему датчиком ускорения и занесите полученное значение массы в поле **Масса тела**.

Расположите датчик силы горизонтально так, чтобы пружина не действовала на его крючок. Нажмите кнопку **Ноль** в разделе **Калибровка**. При этом программой записывается реперное (исходное) значение силы, которое будет учитываться при всех последующих измерениях.

Нажмите кнопку **Пуск**. При этом в окне **График** на экране дисплея появляется зависимость силы, регистрируемой датчиком силы, от времени.

Прикрепите к крючку брусочка пружину, к свободному концу пружины подсоедините датчик силы, удерживаемый рукой горизонтально. Потяните за датчик силы, плавно увеличивая усилие. Как только брусочек сдвинется с места, программа зафиксирует максимальное значение силы трения покоя и отметит этот момент времени на графике вертикальной красной линией. По весу брусочка будет автоматически рассчитан коэффициент трения покоя между брусочком и поверхностью стола.

В соответствующих ячейках активной строки таблицы результатов отобразятся режим измерения силы трения и значения коэффициента трения и веса брусочка.

**Внимание!** При выполнении измерений держите датчик силы горизонтально, не допускайте его перекаса. Продольная ось датчика силы должна быть все время направлена вдоль пружины.

Отсоедините от брусочка пружину с датчиком силы.

Нажмите кнопку **Пуск**. При этом окно **График** на экране дисплея автоматически очищается и в нем появляется зависимость ускорения брусочка, регистрируемого датчиком силы, от времени.

Подтолкните брусочек рукой вдоль стола в направлении, противоположном стрелке, изображенной на верхней панели датчика ускорения (сообщая ему начальную скорость 1–1,5 м/с). По измеренной зависимости ускорения брусочка от времени программа определит среднее значение ускорения и отметит его на графике горизонтальной красной линией. По среднему значению ускорения будет



автоматически рассчитан коэффициент трения покоя. В соответствующих ячейках активной строки таблицы результатов отобразятся режим измерения силы трения и значения коэффициента трения и веса бруска.

**Внимание!** Начальная скорость, сообщаемая бруску, должна быть направлена строго вдоль его оси. Для корректного измерения ускорения необходимо, чтобы брусок двигался поступательно, не вращаясь. Для правильного определения знака ускорения начальная скорость бруска должна быть направлена противоположно стрелке, изображенной на верхней панели датчика ускорения.

### Анализ результатов

Значения коэффициентов трения покоя и трения скольжения рассчитываются автоматически и заносятся в соответствующие ячейки таблицы. Никаких дополнительных действий для проведения анализа не требуется.

### Повторные измерения

Проведите несколько опытов, помещая на брусок грузы разной массы (для закрепления грузов используйте липкую ленту или двухсторонний скотч). Проанализируйте с учащимися полученные данные. Обобщите результаты опытов.

## 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  $1 \text{ м/с}^2$ . 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 плату сбора данных напряжением  $+5 \text{ В}$ .