

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

**Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка
по общему физическому практикуму**

**Лабораторная работа № 22
Измерение коэффициента сухого трения.**

Описание составили доц. Авксентьев Ю.И.

ст. преп. Платонова И.В.

МОСКВА 2018

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СУХОГО ТРЕНИЯ

Цель работы:

Изучение основных закономерностей сухого трения.

Раздел физики, изучающий процессы трения называется *трибологией*. Сила трения относится к диссипативным силам: работа силы трения зависит от формы траектории. А значит, сила трения приводит к убыли (диссипации) энергии в системе.

В качестве примера рассмотрим колебания грузика на пружинке. Очевидно, что колебания грузика не будут бесконечными. Амплитуда колебаний постепенно будет убывать и колебания грузика прекратятся. Затухание колебаний происходит вследствие действия диссипативной силы, связанной с сопротивлением среды и внутренним трением в пружине - силы трения.

Механизм возникновения явления, которое называют трением, достаточно сложен. В простейших моделях полагают, что при относительном скольжении трущихся поверхностей происходит их взаимодействие («зацепление» неизбежных неровностей, микротрещин и т.д.), т.е. возникают силы – силы трения - препятствующие движению. В более точных моделях это взаимодействие рассматривается на атомно-молекулярном уровне как взаимное притяжение атомов и молекул соприкасающихся тел. По этой причине величина силы трения зависит от свойств материалов. Кроме того такого рода «зацепление» атомов трущихся поверхностей приводит к усилению и последующему затуханию колебаний атомов в поверхностных слоях, т.е. к повышению их температуры. Это и означает, что силы трения являются диссипативными, при их действии происходит диссипация – необратимое рассеивание механической энергии системы и превращение ее в теплоту.

Различают трение внешнее и внутреннее:

Внешнее трение возникает при относительном перемещении двух соприкасающихся твердых тел.

Внутреннее трение наблюдается при относительном перемещении частей одного и того же сплошного тела (например, слоев жидкости или газа).

Различают также *сухое* и *жидкое* (или *вязкое*) трение:

Сухим (внешним) трением называют механическое сопротивление, возникающее при относительном перемещении двух соприкасающихся тел в плоскости их контакта в отсутствии смазки. При наличии смазки сила трения существенно уменьшается, и это связано уже со свойствами смазки, а не поверхностей.

Если же движение тел происходит в жидкости или газе, то говорят о силе *вязкого (внутреннего) трения*. Сила вязкого трения значительно меньше силы сухого трения. Сила вязкого трения сильно зависит от скорости тела. При малых скоростях $F_{\text{тр}} \sim v$, при больших скоростях $F_{\text{тр}} \sim v^2$ (Рис.1). При этом коэффициенты пропорциональности в этих соотношениях зависят от формы тела.

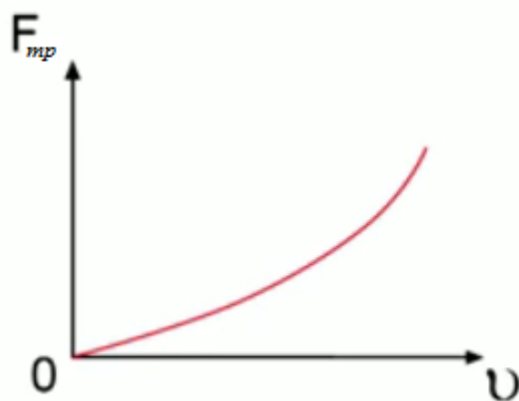


Рис. 1.

Различают следующие силы трения: *покоя, скольжения и качения*.

Если на тело, находящееся на некоторой поверхности, действует некоторая сила, то перемещение тела может вызвать лишь достаточно большая сила. При меньшем значении внешней силы тело остается в относительном покое. Это означает, что при попытке вызвать относительное движение одного тела по поверхности другого в плоскости соприкосновения тел возникает сила,

препятствующая этому перемещению. Такую силу называют *силой трения покоя*. При вязком трении нет силы трения покоя. Когда внешняя сила становится больше максимальной силы трения покоя, тело начинает скользить и тогда говорят о *трении скольжения*.

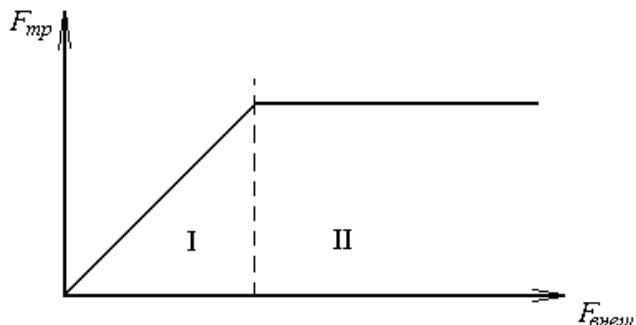


Рис.2

Зависимость силы трения от величины внешней силы представлена на рис. 2. Участок I соответствует трению покоя. На участке II тело приходит в движение, и сила трения покоя переходит в силу трения скольжения.

Если же движение тел происходит в жидкости или газе, то говорят о силе *вязкого (внутреннего) трения*.

Трением качения называется сопротивление, возникающее при качении одного тела по поверхности другого. Возникновение силы трения качения обусловлено деформацией катящегося тела и опорной поверхностью. Неподвижное колесо, расположенное на горизонтальной поверхности, деформирует эту поверхность. При движении колеса эти деформации не успевают восстановиться, поэтому колесу приходится как бы все время взбираться на небольшую горку, из-за чего появляется момент сил, тормозящий качение.

Основные закономерности сил сухого трения описываются эмпирическим законом Кулона-Амонтона:

1. Модуль силы сухого трения покоя может принимать значения от нуля до некоторого максимального значения.
2. Модуль силы сухого трения скольжения равен максимальному

значению модуля силы сухого трения покоя.

3. Модуль силы сухого трения скольжения $F_{\text{тр}}$ пропорционален модулю силы нормального давления:

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

где μ - коэффициент сухого трения, зависящий только от вещества и состояния поверхностей трущихся тел, N – сила нормальной реакции поверхности.

4. Сила сухого трения скольжения направлена противоположно скорости относительного движения тел.

5. Сила сухого трения не зависит от площади поверхности соприкосновения.

6. Работа сил трения всегда отрицательна, а ее величина зависит от формы траектории тела, скользящего по поверхности. Эта зависимость – характерный признак диссипативных сил.

Найдем связь коэффициента трения μ и силы F , действующей на брусок. Пусть брусок массой m , движется с постоянной скоростью под действием силы F по горизонтальной поверхности. На рис.3 указаны силы, действующие на брусок во время движения: F , внешняя сила, $F_{\text{тр}}$, сила трения, mg , сила тяжести, N , сила нормальной реакции.

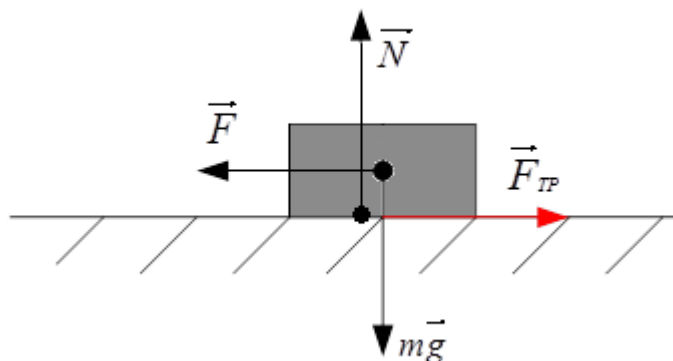


Рис.3

Уравнение движения бруска в проекциях на оси x и y имеют вид:

$$F - F_{\text{тр}} = 0, \quad (1)$$

$$N - mg = 0 \quad (2)$$

$$F_{\text{тр.}} = \mu N \quad (\text{закон Кулона-Амонтона}) \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1), (2) и (3), получаем:

$$\mu = F_{\text{тр}}/mg = F/mg \quad (4)$$

Экспериментальная установка

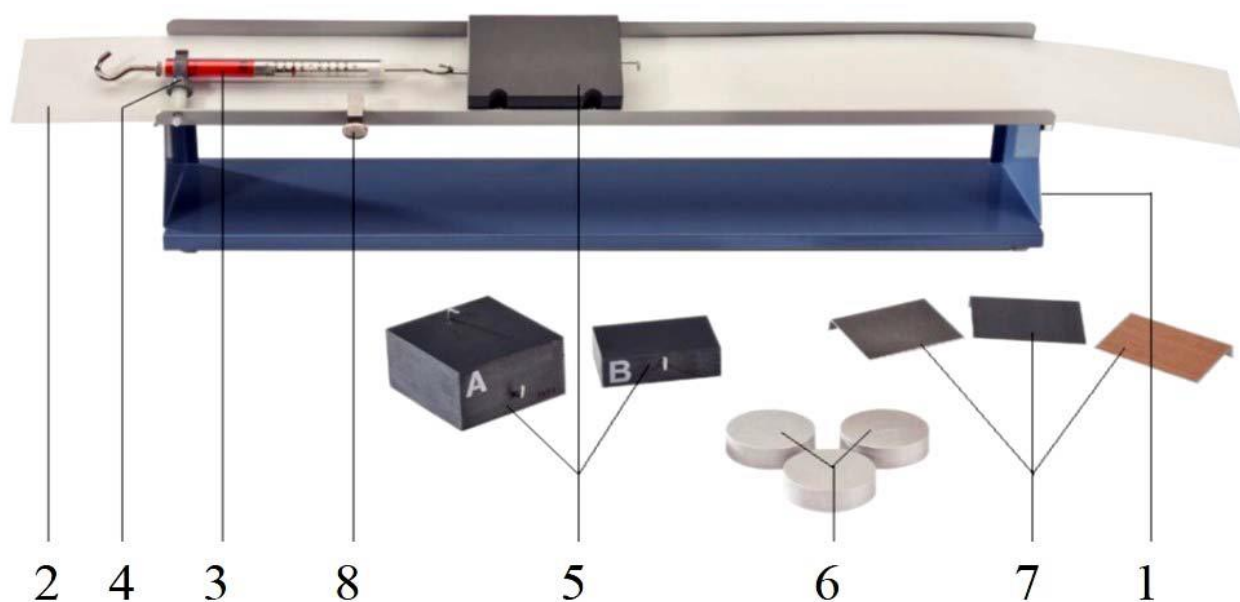


Рис.4

Рассмотрим метод определения коэффициента трения скольжения. Экспериментальная установка показана на рис.4. На основание 1 положен длинный картонный лист 2, по которому движется исследуемое тело. К основанию 1 прикреплен динамометр 3 при помощи крепежа 4. К динамометру 3 можно прикрепить разные по площади бруски 5 из одинакового материала, массу которых можно изменять при помощи набора грузов 6. Материал поверхности бруска 5 «В» можно изменить, поставив его на пластину. Пластины 7 покрыты следующими материалами: алюминий, резина и тефлон.

Упражнение 1. Исследование зависимости силы трения от площади брусков.

Прежде чем приступить к измерению силы трения, установите основание в горизонтальное положение. С помощью электронных весов измерьте массу брусков и грузов. Значения запишите в табл. (1.0-1.3) и (2.0-2.3).

Далее измерения проводите в следующем порядке:

1. Поместите брусок с малой площадью основания на поверхность картона, проверив, чтобы он не касался боковыми поверхностями стенок основания. Подсоедините брусок к динамометру.

2. Медленно двигайте картонный лист в направлении от динамометра, наблюдая за показаниями динамометра. Согласно уравнению (1), максимальное показание динамометра и будет равно модулю силы сухого трения скольжения. Если величину силы не удастся определить по данному динамометру, динамометр следует заменить на другой, с большим пределом измерения. Проведите измерения 3 раза, а результаты измерений запишите в табл. 1.

3. Аналогичные измерения проведите, помещая на малый брусок последовательно один, два и три груза. Результаты измерений запишите в табл. (1.1-1.3). Общий вид всех таблиц одинаков.

4. Поместите брусок с большой площадью основания на поверхность листа из картона. Подсоедините брусок к динамометру. Повторите измерения, описанные пп.2,3. Результаты измерений запишите в табл. 2.0-2.3.

Зависимость модуля силы сухого трения от массы грузов на бруске

Таблица 1.0

Малый брусок			
$m_{бр}, кг$	$mg, Н$	$F_{1.0}, Н$	$\bar{F}_{1.0}, Н$
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{1.0} = (\bar{F}_{1.0} \pm \Delta F) Н, \quad \varepsilon_{F_{1.0}} = \dots \%$$

Таблица 1.1,2,3

Малый брусок с одним (двумя, тремя) грузом.			
$m_{гр}$, кг	mg , Н	$F_{1.1}$, Н	$\bar{F}_{1.1}$, Н
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{1.1} = (\bar{F}_{1.1} \pm \Delta F) \text{ Н}, \quad \varepsilon_{F_{1.1}} = \dots \%$$

Таблица 2.0

Большой брусок			
$m_{бр}$, кг	mg , Н	$F_{2.0}$, Н	$\bar{F}_{2.0}$, Н
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{2.0} = (\bar{F}_{2.0} \pm \Delta F) \text{ Н}, \quad \varepsilon_{F_{2.0}} = \dots \%$$

Таблица 2.1,2,3

Большой брусок с одним (двумя, тремя) грузом.			
$m_{гр}$, кг	mg , Н	$F_{2.1}$, Н	$\bar{F}_{2.1}$, Н
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{2.1} = (\bar{F}_{2.1} \pm \Delta F) \text{ Н}, \quad \varepsilon_{F_{2.1}} = \dots \%$$

Обработка результатов:

1. Вычислите вес тела по формуле:

$$mg = (m_{\text{бруска}} + m_{\text{груза}}) g$$

Результаты расчетов запишите в табл.1 и 2 соответственно. При расчете, значение ускорения свободного падения следует брать $g=9.81 \text{ м/с}^2$

2. Постройте графики зависимости приложенной силы F от mg для малого и большого брусков.

3. По графикам найдите значение коэффициента сухого трения для брусков с малой и большой площадью основания.

Согласно формуле (4) коэффициент сухого трения - это $\text{tg } \varphi$, где φ -угол наклона прямой к оси абсцисс.

4. Определите, зависят ли коэффициенты трения от площади основания брусков и их веса.

5. Принимая значения μ , полученные в различных экспериментах, результатами прямых измерений, вычислить абсолютную погрешность измерения коэффициента трения.

Упражнение 2. Определение коэффициента трения для поверхностей из разных материалов.

1. С помощью весов измерьте массы алюминиевой, тефлоновой и резиновой пластинок (по указанию преподавателя). Соответствующие назначения запишите в табл. 3.0-3.1.

2. Поместите брусок с малой площадью основания на алюминиевую пластинку так. Подсоедините брусок к динамометру.

3. Далее следуйте пп. 2,3 из упражнения 1. Результаты измерений запишите в табл. 3.0-3.1.

Зависимость модуля силы сухого трения от массы грузов на бруске для разных поверхностей

Таблица 3.0

Пластина (название выбранного материала пластины) m= , кг			
m _{гр} , кг	(m _{бруска} + m _{пластинки}) g, Н	F _{3.0} , Н	$\bar{F}_{3.0}$, Н
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{3.0} = (\bar{F}_{3.0} \pm \Delta F) \text{ Н}, \quad \varepsilon_{F_{3.0}} = \dots \%$$

Таблица 3.1

Пластина (название выбранного материала пластины)			
m _{гр} , кг	(m _{бруска} +m _{груза} +m _{пластинки}) g, Н	F _{3.1} , Н	$\bar{F}_{3.1}$, Н
		1.	
		2.	
		3.	

$$F_{3.1} = (\bar{F}_{3.1} \pm \Delta F) \text{ Н}, \quad \varepsilon_{F_{3.1}} = \dots \%$$

Обработка результатов:

1. Вычислите вес тела по формуле:

$$mg = (m_{\text{бруска}} + m_{\text{груза}} + m_{\text{пластинки}}) g$$

Результаты расчетов запишите в табл.3.0-3.5. Значение ускорения свободного падения следует брать $g=9.81 \text{ м/с}^2$.

2. Постройте график зависимости среднего значения силы F от mg для измеренного материала, представленных в табл. 3.0-3.1 .

3. По графику найдите значение коэффициента сухого трения для выбранного материала пластины.

4. Вычислите абсолютную и относительную погрешности полученного значения коэффициента трения.

Контрольные вопросы.

1. Какие существуют виды трения? Дайте сравнительную характеристику.
2. Каков механизм возникновения силы трения?
3. Как зависит сила трения от величины внешней силы?
4. В чем состоит закон Амонтона-Кулона?
5. Каковы основные закономерности сил сухого трения?
5. Какие силы действуют на брусок на горизонтальной плоскости?
6. Выведите связь коэффициента трения μ и силы F , действующей на брусок.

Литература

1. Д.В.Белов. «Механика», изд. «Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова», 1998 г., §10.
2. И.В.Савельев. «Курс физики», т. 2, изд. «Наука», 1982 г., §15.