

Министерство образования и науки Российской Федерации.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра Физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

**Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 для студентов
специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62**

Нижегород
ННГАСУ
2012

УДК 531.535

Определение коэффициента трения скольжения: метод. указания к выполнению лабораторной работы № 3 студентам направлений 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62 \ Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; сост. Коган Л.П., Комаров Ю.П - Н.Новгород, ННГАСУ, 2012. – 22с.

Даются сведения о сухом трении и вводится определение коэффициента трения, приведено описание лабораторной установки и метода измерения и расчета коэффициента трения.

Составители: к.ф.-м.н., доцент Коган Л.П., к.ф.-м.н., доцент Комаров Ю.П.
Редактор: д.ф.-м.н., профессор Бархатов Н.А.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение основных закономерностей сухого трения и измерение коэффициента трения исследуемых материалов.

ОБЩИЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И СДАЧИ ОТЧЁТА

При выполнении заданий по данной работе Вы на практике используете закономерности сухого трения. Для эффективного усвоения материала порядок работы должен быть следующий:

1. До выполнения лабораторной работы необходимо прочитать данные методические указания и повторить основные теоретические понятия, которые используются в работе.

2. Перед выполнением работы необходимо сдать теоретический допуск. Для удовлетворения минимальным требованиям надо уметь отвечать на вопросы разделов 1, 2, 6 методических указаний. Эти методические указания имеются в библиотеке ННГАСУ, их можно также получить на кафедре или взять на сайте кафедры физики в электронном виде.

3. После сдачи допуска, проводятся необходимые измерения и оформление протокола. Протокол измерений может быть один на бригаду студентов. Он должен быть показан преподавателю, который зафиксирует выполнение работы. Преподаватель назначает Вам дату сдачи работы, к которой Вам следует оформить отчёт (обычно это следующее лабораторное занятие). Отчёт оформляется индивидуально и студент обязан объяснить все этапы выполнения лабораторной работы и расчетов, которые в отчете содержатся. Студенту перед сдачей отчета рекомендуется добиться полной ясности в понимании использованных физических законов и каким образом получают применяемые формулы.

4. Защита лабораторной работы состоит в ответе на вопросы по отчёту, связанные с практическими измерениями, а также с демонстрацией студентом умения решать задачи по соответствующей теме. При подготовке рекомендуем, во-первых, убедиться, что Вы умеете решать простейшие задачи, а кроме того проанализировать задания в конце данной брошюры. В случае успешной защиты, преподаватель делает в журнале

пометку о сдаче лабораторной работы студентом с указанием рейтингового балла.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

При относительном перемещении соприкасающихся тел или их отдельных частей возникают силы трения. Трение, наблюдающееся между поверхностями двух тел при отсутствии смазки между ними, называется сухим. Трение между твердым телом и жидкостью или газом, а также слоями жидкости или газа, называется вязким. Возникновение силы трения связано со строением вещества. Физическая природа силы трения заключается в электромагнитном взаимодействии молекул вещества. При деформации выступов шероховатой поверхности содержащей микронеровности, происходит сближение положительно заряженных ядер атомов, и они отталкиваются. В результате между выступами неоднородностей возникают силы упругости. Они складываются и это приводит к появлению силы трения. Сила трения направлена противоположно движению. Кроме того, при контакте микронеровности колеблются, эти колебания передаются соседним атомам и часть энергии уходит в тепло. Вторая причина трения проявляется при сближении трущихся поверхностей на очень маленькое расстояние, при котором возникают силы притяжения между молекулами. Эти силы тоже направлены против движения и также проявляются в виде силы трения. Таким образом, причинами трения являются шероховатость трущихся поверхностей, а также межмолекулярное притяжение материалов.

Силы трения направлены по касательной к трущимся поверхностям тел в сторону, противоположную направлению движения данного тела. Различают три вида сухого трения: трение покоя, трение скольжения и трение качения.

Сила трения покоя возникает при попытке вызвать скольжение одного тела по поверхности другого. Рассмотрим два соприкасающихся тела 1 и 2 (Рис. 1),

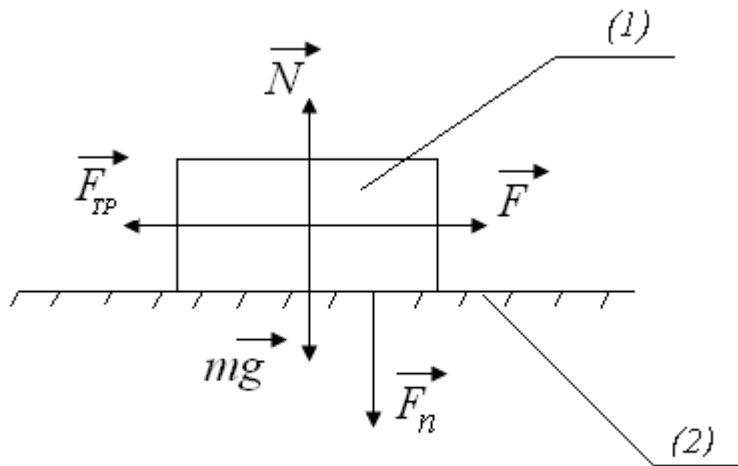


Рис. 1

причем тело 2 закреплено неподвижно. Пусть в направлении, перпендикулярном поверхности соприкосновения, тело 1 действует на тело 2 с силой \vec{F}_n , называемой силой нормального давления. \vec{F}_n может быть обусловлена силой тяжести и другими причинами. Если к телу 1 приложить внешнюю силу \vec{F} , направленную параллельно поверхности соприкосновения, то при значениях внешней силы, лежащей в пределах $0 < \vec{F} < \vec{F}_0$, тело 1 останется в покое. При этом в соответствии со вторым законом Ньютона сила \vec{F} уравнивается равной ей по величине и противоположной по направлению силой, которая является силой трения покоя $\vec{F}_{тр}$. Сила трения покоя автоматически принимает значение, равное по модулю внешней силе \vec{F} . Величина \vec{F}_0 является максимальным значением силы трения покоя. Когда внешняя сила \vec{F} превзойдет по модулю \vec{F}_0 , тело начинает скользить. При этом сила трения продолжает действовать на тело – она называется в данном случае силой трения скольжения. Величина силы трения скольжения зависит от скорости скольжения. Характер этой зависимости определяется природой тел и обработкой их поверхности.

На рис. 2 изображен обычно встречающийся вид зависимости силы трения $\vec{F}_{тр}$ от относительной скорости движения V .



Рис. 2

В случае однородных пар твердых материалов сила трения скольжения практически не зависит от скорости и равна максимальной силе трения покоя. Этого можно добиться и при специальной обработке соприкасающихся поверхностей.

Законы сухого трения были сформулированы Кулоном и заключаются в следующем.

Максимальная сила трения покоя и равная ей сила трения скольжения:

- 1) не зависят от площади соприкосновения трущихся тел;
- 2) пропорциональны силе нормального давления:

$$F_{тр} = k F_n . \quad (1)$$

Безразмерный коэффициент пропорциональности k называется коэффициентом трения (покоя или скольжения, соответственно). Значение коэффициента трения зависит от природы и степени обработки трущихся поверхностей. По третьему закону Ньютона, сила нормального давления \vec{F}_n равна по величине и противоположна по направлению силе \vec{N} нормальной реакции опоры: $\vec{F}_n = -\vec{N}$. Поэтому формулу (1) можем переписать в виде: $F_{тр} = k N$, причем данное соотношение справедливо как для горизонтальной, так и для наклонной поверхности.

В случае скольжения коэффициент трения слабо зависит от относительной скорости движения трущихся поверхностей. Поэтому для инженерных целей коэффициент трения в достаточно широких пределах можно считать не зависящим от скорости.

Силы трения качения возникают если тело (например, цилиндр или шар) катится по некоторой поверхности. Трение

качения значительно отличается от трения покоя и скольжения своим коэффициентом трения. Коэффициент трения качения значительно меньше коэффициента трения скольжения для аналогичных материалов.

Таблица 1

При трении скольжения		При трении качения	
Материал	K	Материал	K
Сталь по стали	0.12 – 0.17	Железный обод по рельсу	$3 \cdot 10^{-5}$
Металл по дереву	0.4 – 0.6	Резиновая шина по твердому дереву	$4 \cdot 10^{-3}$
Сталь по льду	0.3		
Резина по твердому грунту	0.7		
Кожа по металлу	0.6		

Силы трения играют чрезвычайно большую роль в нашей жизни. Например, именно силы трения покоя, возникающие при ходьбе между подошвами и землей, позволяют человеку двигаться. Силы трения покоя используются в технике для передачи усилия от одних частей машины к другим (ременные передачи, ленточные транспортеры и т.п.), на явлениях трения основано скрепление деталей с помощью гвоздей и винтов.

Но во многих случаях трение играет отрицательную роль, вызывая торможение движения, поэтому приходится принимать меры для его ослабления.

В целях уменьшения сухого трения применяется:

1) смазка трущихся поверхностей; при этом трение уменьшается в среднем в 8-10 раз;

2) замена трения скольжения трением качения.

Так как трение возникает при всяком движении в земных условиях, то при расчете движений необходимо учитывать силы трения.

II. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Коэффициент трения определяется на лабораторной установке называемой трибометром (рис. 3).

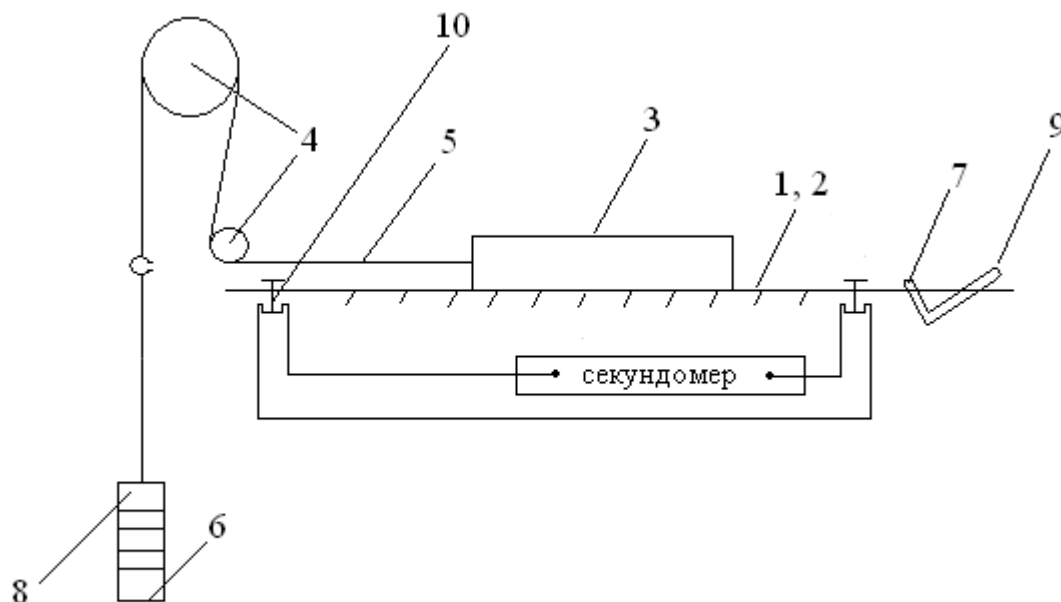


Рис. 3

Трибометр состоит из шлифованных ползьев 1, 2 и бруса 3 из материалов, трение для которых определяется, неподвижных блоков 4 и нити 5 для подвеса держателя грузов 6. В работе применяют брус 3 с чугунной и пластмассовой поверхностями. Для фиксации бруса 3 в исходном положении служит стопор 7.

На держатель 6 помещается груз 8, приводящий систему тел – брус и держатель с грузом – в равноускоренное движение.

Вычисление силы трения скольжения выполняется с помощью основного уравнения поступательного движения (второго закона Ньютона). Для этого рассмотрим силы, действующие на груз 3 и на держатель с грузом 6. Силы изображены на рис. 4.

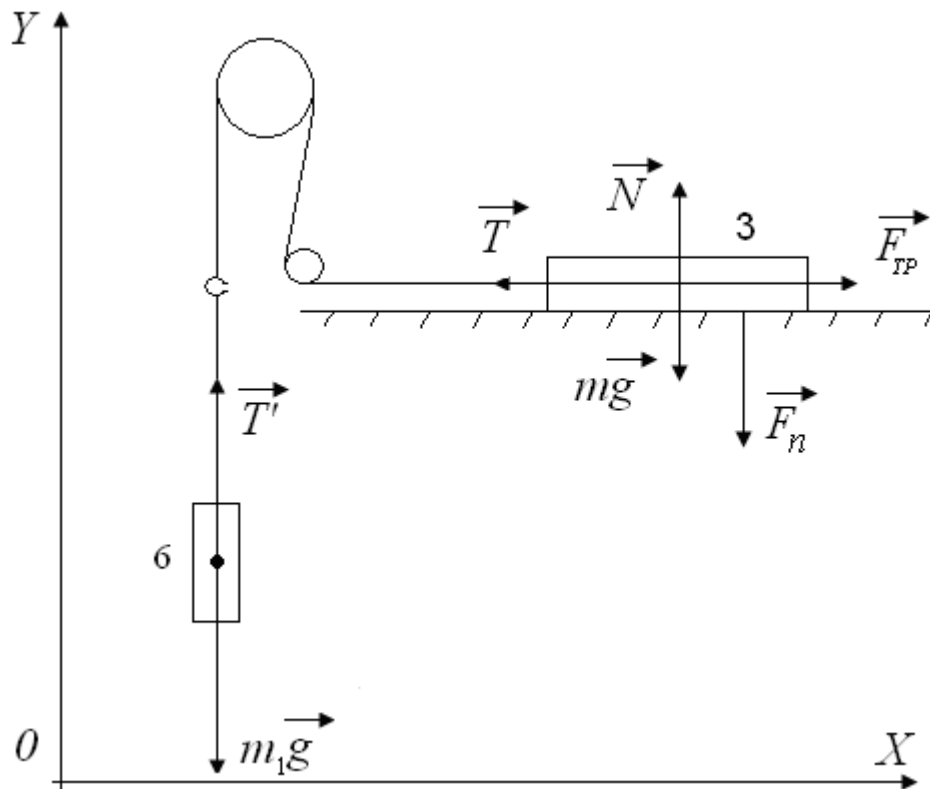


Рис.4

В проекциях на оси OX и OY уравнение движения груза имеет вид:

$$T - F_{TP} = ma, \quad (2)$$

$$N = mg, \quad (3)$$

где m – масса груза, a – его ускорение, $g \approx 9.8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Уравнение движения держателя с грузом в проекциях на ось OY запишется в виде:

$$m_1g - T' = m_1a, \quad (4)$$

где m_1 – масса держателя с грузом.

Учитывая, что $|\vec{T}'| = |\vec{T}|$, после совместного решения уравнений (2) и (4) для силы трения получаем выражение:

$$F_{TP} = m_1g - (m + m_1)a = k F_n \quad (5)$$

Принимая во внимание определения силы трения (1) $F_{TP} = k F_n$ и

силы нормального давления $F_n = N = mg$ с учетом (5) находим:

$$k = \frac{m_1 g - (m + m_1) a}{mg}. \quad (6)$$

Ускорение бруса a определяем из формулы пути для равноускоренного движения:

$$S = \frac{at^2}{2}, \text{ откуда } a = \frac{2S}{t^2}, \quad (7)$$

где S – путь, пройденный бруском 3 при движении (измеряется масштабной линейкой), t – время, затраченное на прохождение этого пути (измеряется электронным секундомером). С учетом (6) и (7) получаем расчетную формулу для коэффициента трения:

$$k = \frac{m_1}{m} - \frac{2S(m + m_1)}{mgt^2}. \quad (8)$$

III. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Абсолютную Δk и относительную δk погрешности найденного коэффициента трения скольжения вычислим опираясь на метод вычисления погрешностей при косвенных измерениях. Соответствующие формулы для их вычисления следующие (см. методическое пособие «Обработка результатов физического эксперимента»):

$$\Delta k = \left(\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta m_1}{m_1} \right) \frac{m_1}{m} + \left(\frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta(m + m_1)}{m + m_1} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + 2 \frac{\Delta t}{\langle t \rangle} \right) \frac{2S(m + m_1)}{mg \langle t \rangle^2}, \quad (9)$$

$$\delta k = \frac{\Delta k}{k} \cdot 100\% .$$

Здесь $\langle t \rangle$ - среднее значение времени скольжения бруска для пяти измерений: $\langle t \rangle = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}$. Величина Δt – это абсолютная погрешность измерения времени. Значение Δt вычисляется по формуле прямых однократных измерений: $\Delta t = \sigma_t t_\alpha$. Среднее

квадратичное отклонение $\sigma_t = \sqrt{\frac{(t_1 - \langle t \rangle)^2 + (t_2 - \langle t \rangle)^2 + \dots + (t_n - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}}$, где в данном случае число опытов $n=5$. Величина коэффициента Стьюдента t_α , соответствует числу опытов n и выбранному значению доверительной вероятности α . Обычно полагаем $\alpha = 0.90$ или $\alpha = 0.95$. Значение коэффициента Стьюдента находим по таблице 1 в методическом пособии «Обработка результатов физического эксперимента».

При вычислении погрешностей коэффициента трения, ошибки $\Delta m, \Delta m_1, \Delta S, \Delta g$ однократно измеренных величин m, m_1, S, g взяты равными точностям, с которыми выполнялось измерение этих величин. Т.е. эти ошибки соответственно равны цене деления шкалы соответствующего прибора.

IV. ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Трибометр, электронный секундомер, масштабная линейка, разновесы.

V. ЗАДАНИЕ

Определить на трибометре коэффициент трения скольжения для заданных материалов:

- 1) чугун по стали; 2) пластмасса по стали.

VI. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Тщательно протереть поверхности полозьев 1 и 2 и бруса 3. Брус 3 положить на полозья 1 и 2 той поверхностью, для материала которой определяют коэффициент трения. При этом нить 5 должна быть расположена параллельно направлению полозьев 1 и 2.
2. Включить в сеть тумблером «Вкл» секундомер.
3. Положить на держатель 6 два-три груза из разновеса, подобрав их так, чтобы они приводили в движение брус 3. Записать в таблицу массы груза и держателя.
4. Брус 3 поместить в крайнее положение и зафиксировать стопором 7.

5. Тумблером «Сброс» установить секундомер на нулевое положение.
6. Рукояткой 9 освободить брус 3, включить тем самым секундомер и измерить время движения бруса. Секундомер включается автоматически при освобождении бруса. При этом автоматически замыкается электрическая цепь секундомера (разомкнутая при исходном фиксированном положении бруса 3). Отключается секундомер также автоматически при прохождении бруса через концевой переключатель 10. Брус нажимает на выключатель и тем самым вызывает размыкание электрической цепи и отключение секундомера. Записать в таблицу 2 время прохождения бруса.
7. Измерение времени по пунктам 4-6 повторить 5 раз.
8. Поместить брус 3 на полозья 1, 2 противоположной поверхностью (из другого материала) и повторить опыт по пунктам 4-7. Перед каждым опытом полозья требуется протереть во избежание нанесения на них материала бруса в ходе предшествующих опытов.
9. Включить секундомер тумблером «Вкл».
10. Измерить линейкой с точностью до 1 мм длину пути, пройденного, любой точкой бруса 3 за время t . Результат записать в таблицу.

VII. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Все результаты записать в таблицу 2 (масса m бруса 3 указана на его поверхности).
2. Определить среднее значение времени движения бруса $\langle t \rangle$ для каждого материала и записать результаты в таблицу.
3. По формуле (8) подсчитать коэффициент трения k , используя результаты измерения $\langle t \rangle$ для различных материалов.
4. Для одного из материалов бруса определите относительную δk и абсолютную Δk ошибки измерения коэффициента трения, (см. формулы (9)).

Таблица 2

m (кг)										
S (м)										
Материал бруса										
m_1 (кг)										
№ п/п										
t (с)										
$\langle t \rangle$ (с)										
k										

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте законы сухого трения.
2. От чего зависит величина силы трения и как она направлена?
3. Как определяется сила трения и сила нормального давления в данной работе?
4. Каковы физические причины трения?
5. В чем заключается полезная и вредная роль сил трения?
6. Может ли сила трения быть причиной возникновения движения?
7. Найдите величину работы силы трения при скольжении брус по трибometру для одного из опытов, в котором брус касается полозьев чугунной поверхностью. Считая, что выделившееся при этом тепло поровну делится между брусом и полозьями, вычислить увеличение температуры бруса. Брус при расчете считать целиком чугунным. Удельная теплоемкость чугуна составляет 540 Дж/(кг * град).
8. Выведите формулу (9) расчета абсолютной погрешности измерения коэффициента трения скольжения.
9. Решите задачи № 2.83 и 2.85 из «Сборника задач по общему курсу физики» (Волькенштейн В.С. Изд. «Книжный мир». СПб. 2003.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. § 15. Изд. «Лань». СПб. 2005
2. Яворский Б. М., Пинский А.А. Основы физики, т. I. М.: Наука, 1974. 496 с.
3. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. «Книжный мир». СПб. 2003

Лев Петрович Коган
Юрий Петрович Комаров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 для студентов специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62

Подписано в печать _____. Формат 60 x 90. 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. _____. Усл. печ. л. _____. Тираж 150 экз. Заказ № _____

Федеральное агентство по образованию.
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный строительный университет»
603950, Н. Новгород, Ильинская, 65.
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950 Н.Новгород, Ильинская, 65.