

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
Кафедра физики

Методические указания
к лабораторной работе № 1.3

Определение коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника

Утверждено
на заседании кафедры
физики (протокол №6)
от 11 ноября 2011г.)

г. Днепропетровск
2012

Методические указания к лабораторной работе № 1. 3 «Определение коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника» по разделу «Механика» дисциплины «Физика» для студентов всех специальностей.

Составитель: И.П. Гаркуша, кандидат физ.-мат. наук, профессор,

Днепропетровск: ДВНЗ НГУ, 2012 г.

Определение коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника

Цель работы: изучить один из методов измерения коэффициента трения качения и исследовать зависимость коэффициента трения качения от угла наклона плоскости качения.

Теоретическое введение.

Если тянуть за динамометр цилиндр, лежащий на горизонтальной плоскости (рис. 1), то по показаниям динамометра мы увидим, что нужна весьма небольшая сила тяги, чтобы сдвинуть с места цилиндр и катить его равномерно дальше. Эта сила гораздо меньше, чем при скольжении того же цилиндра, если бы он не мог вращаться и скользил бы по столу.

Сила, действующая со стороны стола на катящийся по нему цилиндр, называется **силой трения качения**. При той же силе давления на стол сила трения качения много меньше силы трения скольжения. Например, при качении стальных колес по стальным рельсам трение качения примерно в 100 раз меньше, чем трение скольжения. Поэтому в машинах стремятся заменить трение скольжения трением качения, применяя так называемые шариковые или роликовые подшипники. На рис. 2 изображен один из таких подшипников.

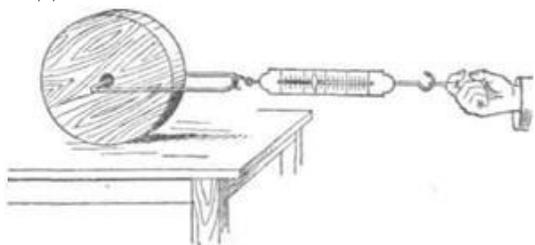


Рис. 1



Рис.2

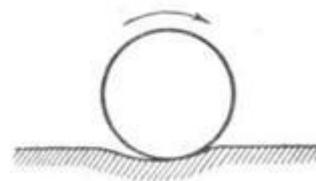


Рис.3.

Происхождение трения качения можно наглядно представить себе так. Когда шар или цилиндр катится по поверхности другого тела, он немного вдавливаясь в поверхность этого тела, а сам немного сжимается. Таким образом, катящееся тело все время как бы вкатывается на горку (рис. 3). Вместе с тем происходит отрыв участков одной поверхности от другой, а силы сцепления, действующие между этими поверхностями, препятствуют этому. Оба эти явления и вызывают силы трения качения. Чем тверже поверхности, тем меньше вдавливание и тем меньше трение качения.

Определим связь между силой трения качения и другими величинами.

Пусть к оси равномерно катящегося по горизонтальной плоскости цилиндра приложена постоянная горизонтальная сила F в направлении движения.

Обозначим через N силу воздействия плоскости на катящийся цилиндр. Так как эта сила тормозит движение цилиндра, то точка приложения ее должна находиться *впереди* на *некотором расстоянии f* от вертикали, проходящей через центр.

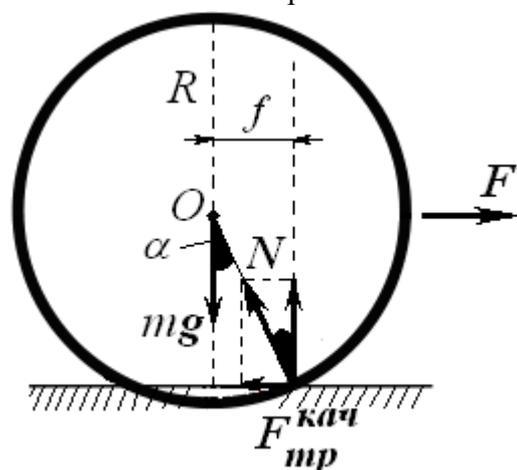


Рис. 4

Так как вращение цилиндра равномерное и угловое ускорение его равно нулю, то сумма моментов всех сил относительно точки O должна равняться нулю. Сила тяжести mg и внешняя сила F по условию проходят через ось цилиндра. Следовательно, и сила реакции опоры N тоже должна проходить через точку O .

Разложим силу N на составляющие.

$N \sin \alpha$ – горизонтальная составляющая силы N – направлена против скорости и представляет собой **силу трения качения** $F_{тр. кач}$.

$N \cos \alpha$ – вертикальная составляющая силы N – уравнивает силу тяжести mg цилиндра и равна ей по модулю.

$$\begin{aligned} F &= F_{тр. кач} = N \sin \alpha; \\ mg &= N \cos \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Расстояние f – вынос точки приложения силы N – практически очень мало по сравнению с радиусом цилиндра R . Другими словами, угол α очень мал. Тогда $\cos \alpha \approx 1$, $\sin \alpha \approx \tan \alpha = f/R$.

Поэтому (1) можно записать так

$$F_{тр. кач} = \frac{f}{R} mg. \quad (2)$$

Расстояние f называется коэффициентом трения качения.

Сила трения качения зависит от силы, с которой колесо давит на опорную поверхность, равной силе тяжести mg , и от радиуса колеса R . Коэффициент трения качения f при этом оказывается **размерной величиной и измеряется в единицах длины.**

Этим коэффициент трения качения отличается от коэффициента трения скольжения, который является безразмерной величиной.

Коэффициент трения качения f , как и для трения скольжения, зависит от материала катка и плоскости, шершавости поверхностей, прочности и т. п.

Опыты показывают, что для стали и других металлов величина f практически не зависит от скорости качения и радиуса цилиндра, а зависит только от материала цилиндра и плоскости.

В качестве примера приводится таблица коэффициентов трения качения для различных пар материалов в мм.

Коэффициенты трения качения f , мм.	
Стальное колесо по стали	0,01-0,5
Деревянное колесо по дереву	0,5-0,8
Стальное колесо по дереву	1,5 – 2,5
Стальное колесо по полимеру	2
Пневматическая шина по асфальту	0,06-0,2
Деревянное колесо по стали	0,3-0,4
Шарикоподшипник (подшипник качения)	0,01-0,04
Роликоподшипник (тоже качения)	0,025-0,1
Шарик твердой стали по стали	0,005-0,01

Описание установки и метод измерения.

Коэффициент трения качения определяется по затуханию колебаний маятника – стального шара на нити. Совершая колебания, шар катится по поверхности пластины, при этом возникает сила трения качения.

На наклонной плоскости укреплена шкала отсчета угла отклонения маятника от положения равновесия до 11° . Для уменьшения параллакса при отсчете угла отклонения маятника шкала снабжена зеркальным отражателем.

Плоскость можно наклонять на разные углы β с помощью воротка. Отсчет угла наклона плоскости β производится по специальной шкале, укрепленной сзади прибора.

В гнезде шкалы отсчета угла отклонения маятника помещен исследуемый образец, коэффициент трения которого при качении по нему стального шара надо определить.

Образец представляет собой прямоугольную пластинку. Она имеет две рабочие поверхности с разной чистотой обработки.

Пусть в начальный момент времени маятник занимает положение OA (рис. 5). Если отклонить шарик от положения равновесия на угол α_0 , а затем отпустить, маятник начнет совершать затухающие колебания.

Через некоторое время, когда маятник совершит n полных колебаний, угол его отклонения от положения равновесия примет значение α_n .

Как показывает расчет, коэффициент трения качения определяется по формуле

$$f_k = \frac{R(\alpha_n - \alpha_0)}{4n} \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

Порядок выполнения работы.

1. Поместить в гнездо шкалы исследуемый образец – прямоугольную пластинку.
2. С помощью преподавателя установить угол наклона образца $\beta = 30^\circ$.
3. Отклонить маятник от положения равновесия на угол $\alpha_0 = 6^\circ$. Сосчитать число полных колебаний n до достижения угла $\alpha_n = 2^\circ$. Измерения проделать три раза.
4. Затем отклонить маятник на углы $\alpha_0 = 8^\circ$ и $\alpha_0 = 10^\circ$ и повторить измерения.
5. С помощью преподавателя изменить угол наклона плоскости качения на $\beta = 45^\circ$ и $\beta = 60^\circ$ и повторить все измерения п.п. 1 – 4.
6. Данные опытов занести в таблицу.
7. Для каждого угла наклона плоскости β :
 - подсчитать значение коэффициентов f_i по формуле (3). Радиус шара измерить штангенциркулем.
 - определить среднее арифметическое значение (здесь число опытов обозначено через m)

$$\langle f \rangle = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_m}{m};$$

- вычислить среднеквадратическое отклонение среднего $S_{\langle f \rangle}$.

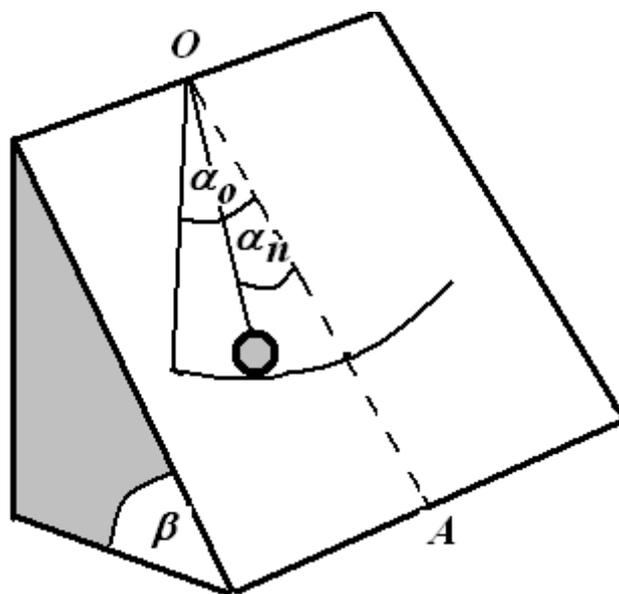


Рис. 5

$$S_{\langle f \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_i - \langle f \rangle)^2}{m(m-1)}};$$

– задавшись доверительной вероятностью α , определить по таблице коэффициент Стьюдента $t_{\alpha,k}$;

– рассчитать погрешность $\Delta f = t_{\alpha,k} S_{\langle f \rangle}$;

– определить относительную погрешность

$$E = \frac{\Delta f}{\langle f \rangle} 100\%.$$

8. Окончательный результат записать в виде:

Коэффициент трения качения стального шара радиусом $R = 13$ мм по стали (в мм):

$$f = \langle f \rangle \pm \Delta f \text{ (для угла } \beta: = 30^\circ);$$

$$f = \langle f \rangle \pm \Delta f \text{ (для угла } \beta: = 45^\circ);$$

$$f = \langle f \rangle \pm \Delta f \text{ (для угла } \beta: = 60^\circ).$$

β , град ус	α_0 , градус	α_0 , радиа н	α_n , градус	α_n , радиа н	n	f_i , мм	$\langle f \rangle$, мм	$f_i - \langle f \rangle$, мм	Δf , мм
30	6		2						
	6		2						
	6		2						
	8		2						
	8		2						
	8		2						
	10		2						
	10		2						
	10		2						
45	6		2						
	6		2						
	6		2						
	8		2						
	8		2						
	8		2						
	10		2						
	10		2						
	10		2						
60	6		2						
	6		2						
	6		2						
	8		2						
	8		2						
	8		2						
	10		2						
	10		2						
	10		2						