

Лабораторная работа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАКЛОННОГО МАЯТНИКА

Цель: изучение трения качения и причин его возникновения.

Введение

Рассмотрим движение шара по горизонтальной плоскости без проскальзывания. И шар, и плоскость будем считать абсолютно недеформируемыми. Тогда шар и плоскость соприкасаются в одной геометрической точке. Сообщим шару в горизонтальном направлении (посредством удара, например) скорость v_0 . На шар и до, и после удара действуют только две силы: сила тяжести $Q = mg$ и сила реакции опоры (плоскости качения) N (рис. 1); причем $N = Q$. Движение шара с постоянной скоростью v_0 в описываемом мысленном эксперименте продолжалось бы бесконечно долго, так как отсутствует сила, действующая на шар в горизонтальном направлении, и, следовательно, нет причины, которая могла бы изменить скорость шара.

Однако, как показывает повседневный опыт, шар, пущенный по горизонтальной плоскости с начальной скоростью v_0 , через какое-то время останавливается. Причина этого — наличие силы трения качения, направление которой противоположно направлению скорости движения шара.

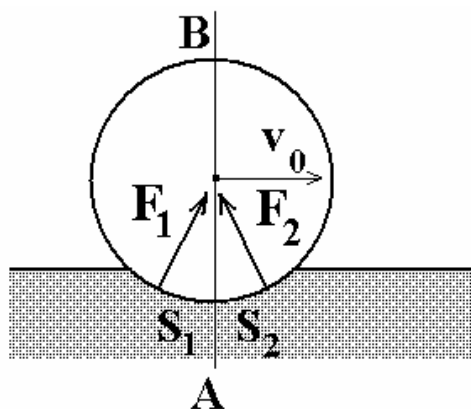


Рис. 1

Возникновение силы трения качения обусловлено взаимной деформацией соприкасающихся тел — шара и плоскости в нашем случае. Схематически это изображено на рис. 1. Вследствие силы тяжести, приложенной к шару, деформируется как сам шар, так и плоскость, по

которой он катится. Степень деформации шара и плоскости зависит от силы тяжести шара, и от упругих свойств материалов, из которых сделаны соприкасающиеся тела. В результате шар и плоскость будут соприкасаться не в одной геометрической точке, а частью своих поверхностей S_1 и S_2 . Через F_1 и F_2 обозначим равнодействующие сил, с которыми деформированные участки плоскости качения шара, находящиеся по разные стороны вертикальной плоскости АВ, проходящей через центр шара, действуют на деформированный шар.

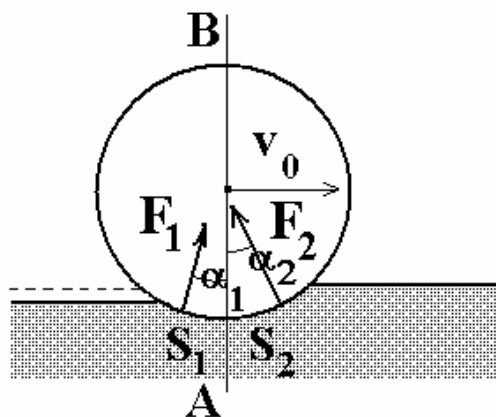


Рис. 2

Пусть деформация плоскости и катящегося по ней без проскальзывания шара является упругой деформацией. Это означает, что соприкасающиеся тела полностью восстанавливают свою форму и размеры после прекращения взаимодействия. Тогда деформации шара и плоскости будут симметричны относительно упомянутой плоскости и силы F_1 и F_2 будут равны по величине, и их направления составят равные углы с вертикальной осью.

Рассмотрим теперь случай упругой деформации шара и неупругой деформации плоскости качения. Легко представить конкретный пример, иллюстрирующий этот случай: тяжелый металлический шар катится по асфальту. Схематическое изображение этого случая дано на рис. 2. Вследствие неполного восстановления деформированной плоскости качения картина, изображенная на рисунке, не имеет осевой симметрии. Из рисунка, например, видно, что уровни поверхности плоскости качения до и после того, как по ней прокатится шар, различаются. Поэтому можно предположить, что площади поверхностей соприкосновения шара и плоскости качения по обе стороны плоскости вертикальной плоскости, проходящей через центр шара будут неодинаковы: $S_1 < S_2$. Как следствие этого, сила F_2 больше по величине силы F_1 . По той же причине углы разные. Следовательно, в рассматриваемом случае горизонтальная составляющая суммы сил F_1 и F_2 не равна нулю.

В настоящей работе используется металлический шар и металлическая плоскость качения. Сравнительно маленькая масса шара и

упругие свойства металлов, из которых сделаны шар и плоскость качения, — причина малой, практически не заметной для визуального наблюдения, деформации шара и плоскости качения при проведении эксперимента.

Можно показать, что сумму горизонтальных составляющих F_1 и F_2 рис. 2, которую и называют силой трения качения, можно представить следующей формулой

$$F_{mp} = k \frac{N}{R},$$

где N - нормальная составляющая силы реакции опоры, действующей на шарик со стороны поверхности, R - радиус шарика. Коэффициент k называется коэффициентом трения качения. Значения k для различных пар соприкасающихся тел (разных и по форме, и по материалам, из которых они сделаны) подлежат экспериментальному определению.

В настоящей работе коэффициент трения качения экспериментально определяется с помощью наклонного маятника. Его принципиальная схема изображена на рис. 3 в двух проекциях. Конструктивно наклонный маятник — это шар, прикрепленный к свободному концу нити и лежащий на поверхности наклонной плоскости. Другой конец нити закреплен. Шар может совершать колебания по наклонной плоскости.

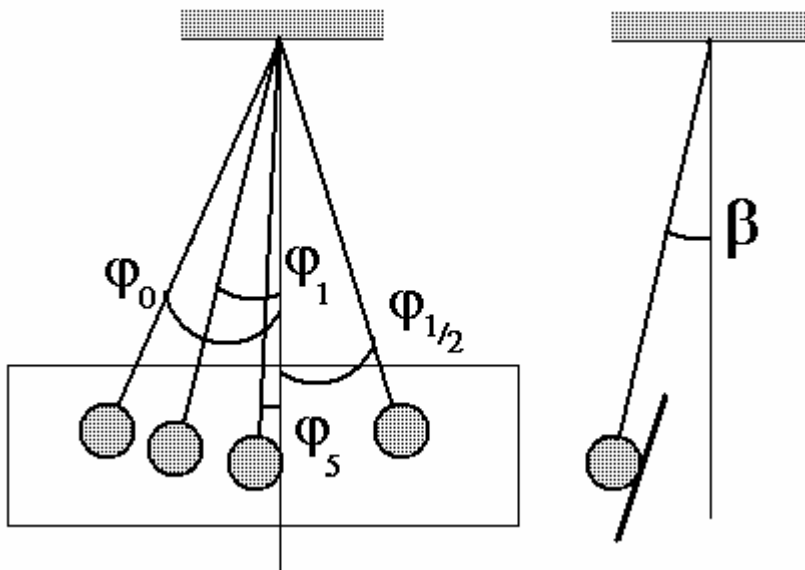


Рис.3

Для экспериментального определения k используется следующая формула

$$k = \frac{R \delta \varphi_n}{4n \operatorname{tg} \beta},$$

где $\delta \varphi_n = \varphi_0 - \varphi_n$ - убыль угла отклонения нити маятника от вертикали за время n полных колебаний.

Задание

Определение коэффициента трения качения

1. Занести в лабораторный журнал значения радиуса R шара наклонного маятника: $R =$ м.
2. Установить угол наклона плоскости качения наклонного маятника $\beta = 30^\circ$.
3. Включить миллисекундомер нажатием тумблера СЕТЬ; на цифровых табло миллисекундомера должны загореться нули.
4. Выбрать произвольное значение начальной амплитуды наклонного маятника φ_0 так, чтобы оно совпало с одним из делений шкалы плоскости качения наклонного маятника. Кроме того, оно должно удовлетворять условию $\varphi_0 \ll 1$.
5. Определить угол отклонения нити наклонного маятника φ_5 после 5 полных колебаний и время 5 полных пяти колебаний наклонного маятника. Для этого необходимо выполнить следующие действия:
 - отвести шар наклонного маятника на предварительно выбранный угол φ_0 ;
 - нажать клавишу СБРОС;
 - отпустить шар, предоставив его самому себе; проходя положение равновесия, шар прерывает световой поток светодатчика, и электронный миллисекундомер начинает автоматически отсчитывать время и число полных колебаний наклонного маятника;
 - после $n = 4$ полных колебаний наклонного маятника нажать клавишу СТОП; электронное устройство автоматически остановит миллисекундомер после $n = 5$ полных колебаний и сохранит на табло время t_5 полных пяти колебаний наклонного маятника;
 - определить визуально угол φ_5 и занести его в таблицу.
6. Повторить еще четыре раза измерение величин t_5 , φ_5 .
7. Для двух новых значений угла φ_0 повторить измерения величин φ_5 и t_5 .
8. Повторить все измерения для двух новых значения углов наклона плоскости качения $\beta = 40^\circ$ и $\beta = 50^\circ$
9. Определить коэффициент трения качения для всех однотипных экспериментов.

10. Сравнивая значения коэффициента трения качения в опытах с одинаковыми углами наклона β , но при различных начальных амплитудах φ_0 , дать заключение, является ли коэффициент трения качения константой.
11. Сравнивая полученные значения коэффициента трения качения в опытах с разными углами наклона β , но с одинаковыми начальными амплитудами φ_0 , дать заключение, является ли коэффициент трения качения константой.

β	i	φ_0	φ_5					$\langle \varphi_5 \rangle$
			1	2	3	4	5	
30°	1							
	2							
	3							
40°	1							
	2							
	3							
50°	1							
	2							
	3							

Контрольные вопросы

1. Указать физические причины возникновения силы трения качения.
2. В каких единицах измеряется коэффициент трения качения?
3. Брусок массой m лежит на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между бруском и поверхностью равен μ . Нарисовать график зависимости силы трения, действующей на брусок от внешней силы F , приложенной к бруску в горизонтальном направлении.
4. Под действием какой силы движется поезд?
5. Автомобиль движется прямолинейно по горизонтальному участку шоссе. Сопротивление воздуха отсутствует. Какие силы действуют на автомобиль, если движение: а) равномерное; б) ускоренное; в) замедленное?
6. К покоящемуся на горизонтальной поверхности телу массой m кг приложили горизонтальную силу $F = 3$ Н. Коэффициент трения $\mu = 0,4$. Чему равна сила трения, действующая на тело?
7. На гладком столе лежит лист бумаги, а на нем книга. Если медленно потянуть за лист, книга поползет вместе с ним. Если тянуть не

равномерно, а толчками, книга останется почти на месте, а лист из-под нее вытянется. Почему?

8. В песчаном грунте вырыли траншею прямоугольного профиля. За ночь стенки траншеи осыпались так, что угол наклона стенки с горизонталью оказался равным α . Найти коэффициент трения μ песчинок друг о друга.