

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

Специализированный учебно-научный центр  
Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Основы физики»

Лабораторный практикум по физике  
Электронное издание  
10 класс

# МЕХАНИКА

Лабораторная работа М–8

Определение коэффициента трения качения

Москва, 2014

Лабораторный практикум по физике. Механика. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители лабораторных работ:

И. Н. Грачева, В. И. Гребенкин, А. Е. Иванов,  
И. А. Коротова, Е. И. Красавина, А. В. Кравцов,  
Н. С. Кулеба, Б. В. Падалкин, Г. Ю. Шевцова,  
Т. С. Цвечинская.

Под редакцией И. Н. Грачевой, А. Е. Иванова, А. В. Кравцова.

- © Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2014
- © Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014

## 8.1 Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение коэффициента трения качения шара по плоской пластине при различных углах наклона пластины.

## 8.2 Основные теоретические сведения

При качении по плоской поверхности тел, имеющих форму круговых цилиндров или шаров, возникают не только упругие, но и пластические деформации. Из-за этого линия действия реакции опорной поверхности не совпадает с линией действия нормального давления. Направление линии действия реакции опорной поверхности качественно может быть определено из следующих соображений.

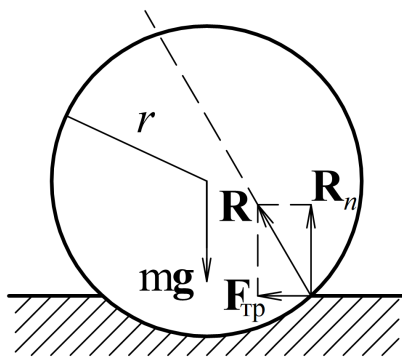


Рис. 8.1: Силы, действующие при качении

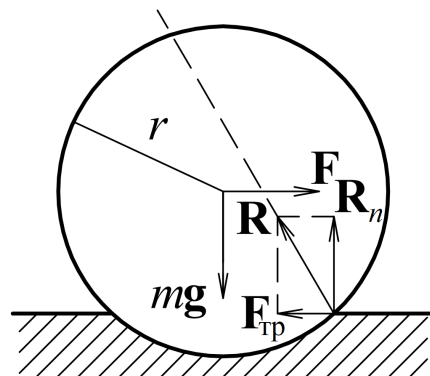


Рис. 8.2: Силы, действующие при равномерном качении

Сила трения является диссипативной силой, следовательно, центр масс тела движется замедленно, а угловое ускорение направлено противоположно угловой скорости. Для соблюдения этих условий точка приложения реакции опорной поверхности должна находиться впереди (относительно перемещения) центра масс, а сама сила реакции опоры должна быть направлена вверх-назад, причем линия действия этой силы должна проходить впереди центра масс (рис. 8.1). В случае равномерного качения под действием силы  $F$  (рис. 8.2) нормальная к плоскости составляющая  $R_n$  реакции опорной поверхности  $R$  численно равна  $mg$ , где  $m$  — масса тела, а горизонтальная составляющая  $F_{тр}$  является силой трения качения, равной (по Кулону)

$$F_{тр} = f_k \frac{R_n}{r}, \quad (8.1)$$

где  $f_k$  — коэффициент трения качения, имеющий размерность длины и зависящий при качении от материалов тел, состояния их поверхностей и ряда других факторов;  $r$  — радиус катящегося тела.

Пара сил  $R_n$  и  $F_{тр}$ , приложенных к катящемуся телу, создает момент трения

$$M_{тр} = F_{тр} r = f_k R_n, \quad (8.2)$$

Из выражения (8.2) видно, что  $f_k$  численно равен плечу силы  $R_n$ , т. е. расстоянию от линии действия  $R_n$  до оси вращения.

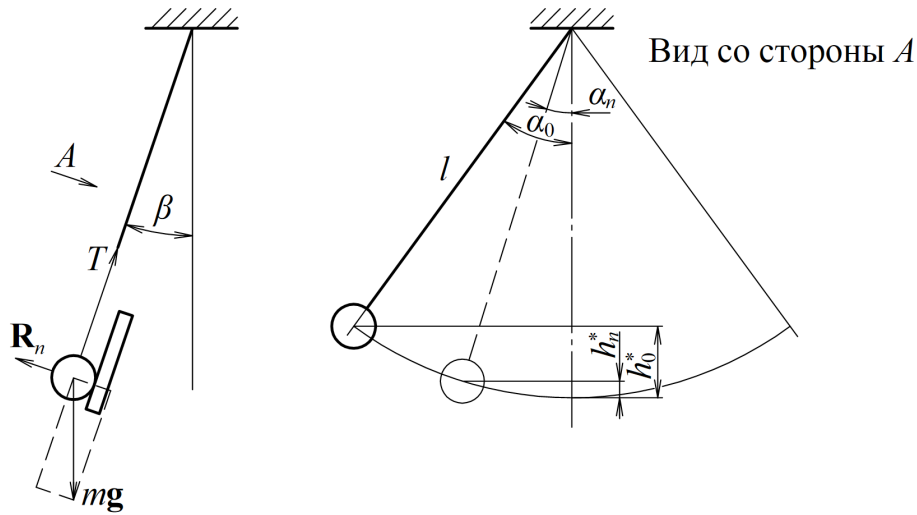


Рис. 8.3: Схема опыта

В данной работе экспериментально определяется коэффициент трения качения пары «шар — плоская пластина». Если после  $N$  полных колебаний измерить угол полного отклонения  $\alpha_n$ , то, в соответствии с законом изменения механической энергии, можно записать

$$mgh_0^* - mgh_n^* = A_{\text{тр}}, \quad (8.3)$$

где

$$h_0^* = 2l \sin^2 \frac{\alpha_0}{2} \cos \beta, \quad (8.4)$$

$$h_n^* = 2l \sin^2 \frac{\alpha_n}{2} \cos \beta. \quad (8.5)$$

При малых углах (не превышающих  $5^\circ$ )  $\sin x \approx x$  и

$$h_0^* = \frac{\alpha_0^2}{2} l \cos \beta, \quad (8.6)$$

$$h_n^* = \frac{\alpha_n^2}{2} l \cos \beta. \quad (8.7)$$

Работа сил трения рассчитывается как

$$A_{\text{тр}} = M_{\text{тр}} \varphi, \quad (8.8)$$

где  $M_{\text{тр}}$  вычисляется в соответствии с выражением (8.2), а

$$\varphi = 2\pi l \frac{\alpha_0 + \alpha_n}{2} \cdot 4N \frac{1}{2\pi r}, \quad (8.9)$$

где  $r$  — радиус шара;  $l$  — длина нити подвеса;  $\alpha_0$  — начальное отклонение шара от положения равновесия;  $\alpha_n$  — максимальное отклонение шара от положения равновесия после  $N$  колебаний.

Решая совместно уравнения (8.2)–(8.9) относительно  $f_k$ , получим расчетное соотношение

$$f_k = \frac{r}{\tan \beta} \cdot \frac{\alpha_0 + \alpha_n}{4N}. \quad (8.10)$$

### 8.3 Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 8.4. К основанию *10* прикреплена труба *9*, на которой смонтирован корпус *8* с червячной передачей, с помощью которой вращается кронштейн *2*. К кронштейну прикреплены шкалы *11* и *7* и штатив *1*, на который подвешен на нити шар *4*. На кронштейне же закреплена опорная пластина *3* и фотоэлектрический датчик *5*, управляющий миллисекундомером *12*. Червячная передача вращается с помощью ручки *6*.

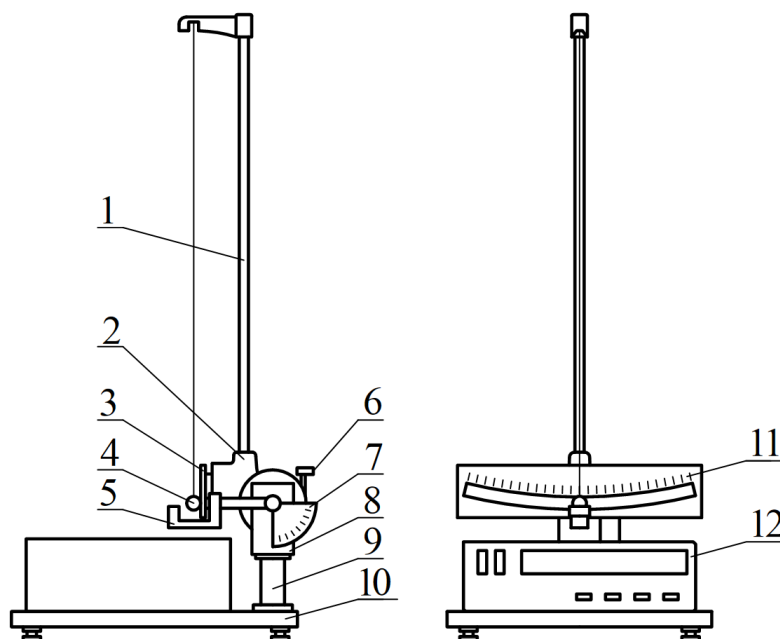


Рис. 8.4: Схема экспериментальной установки

### 8.4 Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу 8.1 в четырех экземплярах.

Таблица 8.1

$\beta =$									
$\alpha_0, ^\circ$									
$\alpha_n, ^\circ$									
$t, \text{с}$									
Число периодов $N$									

2. Запишите в протокол измерений погрешности приборов.
3. Включите установку в сеть 220 В.
4. Вращением ручки *10* отклоните штатив *7* на угол  $\beta = 5^\circ$  от вертикали.
5. Измерьте длину нити подвеса.

6. Нажмите кнопку «Сброс» секундомера.
7. Отклоните шар от положения равновесия на  $\alpha_0 = 4^\circ$  и отпустите его.
8. После совершения 10 полных колебаний измерьте визуально угол наибольшего отклонения по шкале и время по секундомеру, нажав после совершения нужного числа колебаний кнопку «Стоп» секундомера.
9. Измерения по пп. 6–8 повторите 3 раза.
10. Измерения по пп. 6–9 повторите для значений  $\alpha_0$ , равных  $6^\circ$  и  $12^\circ$ .
11. Измерения по пп. 6–10 произведите для углов  $\beta$ , равных  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ .
12. Результаты всех измерений запишите в таблицы.
13. С помощью выражения (8.10) вычислите значения коэффициентов трения качения.
14. В соответствии с методикой, изложенной в разделе «Введение», рассчитайте погрешности измерений коэффициента трения качения.
15. Постройте на одном графике зависимости  $f_k(\alpha)$  при различных  $\beta$ .
16. Сформулируйте выводы.

## 8.5 Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент трения качения? В чем его физический смысл?
2. Сформулируйте закон сохранения энергии.
3. Чем обусловлено возникновение трения качения?
4. Что такое систематическая и случайная погрешности измерения?