

Московский энергетический институт  
(технический университет)  
Волжский филиал

Кафедра общетехнических дисциплин

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

**Лабораторная работа № 3**

**ИЗУЧЕНИЕ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ И ЗАТУХАЮЩИХ  
КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 3 по курсу “Физика”

Рецензент:

Петухов И.М., кандидат технических наук, доцент кафедры СД

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

Лабораторная работа № 3. Изучение трения качения и затухающих колебаний маятника.

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3 по курсу «Физика».

Описание лабораторной работы составлено впервые на основе установки, разработанной ВСНПО «Союзприбор» с введением элементов научного исследования, дополнено в части изучения затухающих колебаний, введен расчет логарифмического декремента затухания.

В процессе работы студенты знакомятся с экспериментальным методом определения коэффициента трения качения и получают навыки исследовательской работы.

Работа предназначена для студентов 1 курса дневной и вечерней форм обучения всех специальностей.

## Лабораторная работа № 3

### ИЗУЧЕНИЕ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ И ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА

#### 1. Цель работы

Определение коэффициента трения качения и логарифмического декремента затухания колебаний с использованием наклонного маятника и сменных образцов из различных материалов, устанавливаемых под разными углами наклона.

#### 2. Теоретические основы работы

На любое движущееся тело действуют силы трения, возникающие в результате сопротивления движению со стороны окружающей среды и других тел, с которыми оно соприкасается во время движения. В результате действия сил трения происходит превращение механической энергии во внутреннюю энергию трущихся тел, т.е. в энергию теплового движения их частиц.

Природа сил трения может быть различна.

Внутреннее трение (вязкость) состоит в возникновении касательных сил, препятствующих перемещению частей одного и того же тела по отношению друг к другу, например, в жидкостях и газах.

Внешнее трение заключается в возникновении в месте контакта двух соприкасающихся тел касательных сил, которые препятствуют относительному перемещению этих тел. Это трение обусловлено шероховатостью соприкасающихся поверхностей; в случае очень гладких поверхностей трение обусловлено силами межмолекулярного притяжения.

Если соприкасающиеся тела неподвижны друг относительно друга, имеет место трение покоя, если происходит относительное перемещение этих тел, то в зависимости от характера их относительного движения различают трение скольжения, качения и верчения.

Рассмотрим трение качения, которое возникает при перекатывании шара по плоской поверхности (рис. 2.1).

При качении шара по плоской поверхности возникают деформации. Поэтому точка приложения силы  $Q$  реакции поверхности не совпадает с линией действия силы нормального давления  $N$ , в нашем случае равной весу шара. Нормальная составляющая  $Q_n$  этой реакции к плоскости практически равна приложенной нормальной нагрузке  $N$ , а горизонтальная составляющая представляет собой силу трения  $F_{тр}$ .

Отсюда:

$$F_{тр} \cdot R = Q_n \cdot K, \quad (2.1)$$

где  $K$  – плечо силы;  $R$  – радиус шара.

Или

$$F_{тр} = K \cdot \left( \frac{N}{R} \right) \quad (2.2)$$

Величину  $K$  называют коэффициентом трения качения.

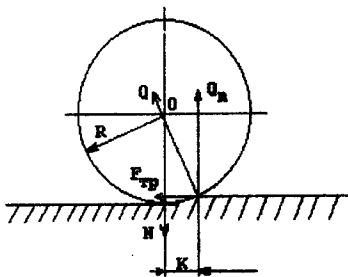


Рис. 2.1

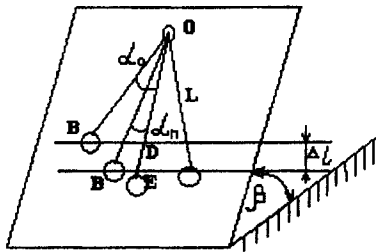


Рис. 2.2

При перекатывании наклонного маятника по плоской поверхности сила трения вызывает затухание колебаний маятника, так как потенциальная энергия, сообщенная ему при отклонении от положения равновесия, постепенно расходуется на работу по преодолению этой силы  $\Delta W = A_{тр}$ .

Или

$$m \cdot g \cdot \Delta l \cdot \sin \beta = K \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta \cdot \frac{S}{R} \quad (2.3)$$

где:  
 $m$  – масса маятника,  
 $\Delta l$  – изменение высоты подъема шара в результате действия силы трения,  
 $S$  – путь, пройденный шаром за  $n$  полных колебаний,  
 $\beta$  – угол наклона маятника.

Из последнего выражения, учитывая геометрические соотношения для  $S$  и  $\Delta l$ , (рис.2.2) получим:

$$K = \frac{R \cdot tq\beta \cdot (\cos \alpha_n - \cos \alpha_0)}{2 \cdot n \cdot (\alpha_0 + \alpha_n)} = R \cdot tq\beta \cdot \left( \frac{\alpha_0 - \alpha_n}{4 \cdot n} \right) \quad (2.4)$$

где  $n$  – число полных колебаний,  
 $\alpha_0$  – угол начального отклонения в радианах,  
 $\alpha_n$  – угол, считанный после  $n$  полных колебаний в радианах.

Так как амплитуда с каждым колебанием уменьшается, то данные колебания являются затухающими.

Свободные затухающие колебания в общем случае описываются дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 \cdot S}{d \cdot t^2} + 2\delta \frac{dS}{dt} + \omega_0^2 S = 0, \quad (2.5)$$

где  $S$  – колеблющаяся величина, описывающая физический процесс,

$\delta$  – коэффициент затухания,

$\omega_0$  – циклическая частота свободных незатухающих колебаний той же системы.

В случае малых затуханий решение уравнения (2.5) имеет вид:

$$S = A_0 \cdot e^{-\delta \cdot T} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi) \quad (2.6)$$

где  $A = A_0 \cdot e^{-\delta \cdot t}$  – амплитуда затухающих колебаний,

$A_0$  – начальная амплитуда.

Величина  $\omega = \sqrt{(\omega_0)^2 - \delta^2}$  называется **циклической частотой затухающих колебаний**, промежуток времени между двумя последующими максимумами колеблющейся величины – **периодом затухающих колебаний**.

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{(\omega_0)^2 - \delta^2}} \quad (2.7)$$

Если  $A(t)$  и  $A(t+T)$  – амплитуды двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период, то отношение

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta \cdot T}$$

называется **декрементом затухания**, а его **логарифмическим декрементом затухания** является

$$\Theta = \ln \left( \frac{A(t)}{A(t+T)} \right) = \delta \cdot T \quad (2.8)$$

Логарифмический декремент затухания – постоянная для данной колебательной системы величина.

В нашей работе амплитудой является максимальное отклонение шара от положения равновесия:

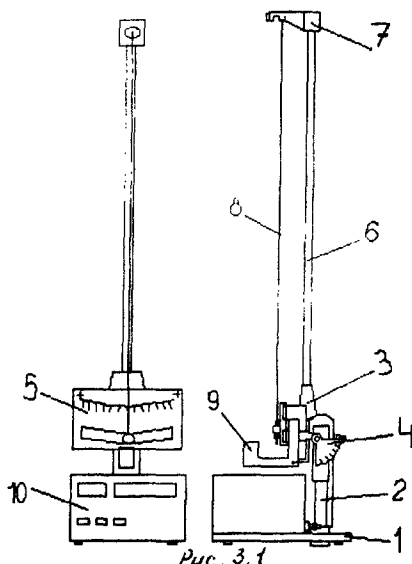
$\alpha_0$  – начальная амплитуда,

$\alpha_n$  - амплитуда после  $n$  полных колебаний.

Поэтому формула 2.8 примет вид:

$$\Theta = \frac{1}{n} \cdot \ln \left( \frac{\alpha_0}{\alpha_n} \right) \quad (2.9)$$

### 3. Описание установки



Общий вид установки изображен на рис. 3.1. На вертикальной стойке 2 основания 1 размещен червячный редуктор, который осуществляет поворот и фиксацию нижнего кронштейна 3. Червячный редуктор приводится во вращение маховиком. Отсчет угла наклона образца производится по шкале 4.

На нижнем кронштейне 3 крепится шкала отсчета амплитуды колебаний маятника 5, вертикальный стержень 6, предназначенный для крепления верхнего кронштейна 7, датчик фотоэлектрический 9.

Шкала 5 представляет собой пластину с гнездом для установки сменных образцов.

По шкале определяется угол отклонения маятника от положения равновесия до 11 градусов. Шкала снабжена зеркальным отражателем для уменьшения паралакса при отсчете угла отклонения маятника.

Образцы представляют прямоугольные пластины, выполненные из различных материалов, каждый образец имеет две рабочие поверхности с различной чистотой обработки.

В верхнем кронштейне 7 размещается механизм подвеса маятника, который позволяет регулировать его длину. Маятник 8 представляет собой тонкую эластичную нить с подвешенным на неё шаром, который, в свою очередь, имеет конус, предназначенный для пересечения оси фотоэлектрического датчика. Датчик размещен на нижнем кронштейне и служит для выдачи электрического сигнала на миллисекундамер 10, который жестко закреплён на основании 1 и имеет цифровую индикацию времени и количества полных колебаний маятника.

### 4. Порядок выполнения работы

1. Установить в гнездо шкалы образец.

2. Произвести регулировку положения основания при помощи регулировочных винтов таким образом, чтобы нить подвеса маятника совпала с нулевым делением шкалы.
3. Включить в сеть шнур питания.
4. Нажать кнопку «Сеть», расположенную на лицевой панели, при этом должны загореться цифровые индикаторы.
5. Установить угол  $\beta$  равный  $45^\circ$ .
6. Отклонить маятник от положения равновесия на угол  $\alpha$  равный  $6^\circ$  и отпустить. Нажать кнопку «Стоп» при достижении амплитуды колебания маятника  $\alpha_n$  равной  $2^\circ$ . Записать в таблицу количество полных колебаний маятника. Опыт повторить 3 раза.
- ~~7. Аналогичные измерения произвести для угла наклона образца  $45^\circ$  и  $60^\circ$ .~~
8. Испытания по пп. 1-7 произвести для всех образцов, входящих в установку, с обеих поверхностей, имеющих разную чистоту обработки.

### 5. Данные установки и таблица результатов измерений

$$R = 10 \text{ мм}, \alpha_0 = 6^\circ = 0,105 \text{ рад}, \alpha_n = 2^\circ = 0,035 \text{ рад}, \beta = 45^\circ.$$

Вид трения		Количество колебаний				$K_{ср}$	$\Theta_{ср}$	$\Delta K$
		$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_{ср}$			
Al-Al	поверхность гладкая							
	поверхность шероховатая							
Al-Cu	поверхность гладкая							
	поверхность шероховатая							
Al-Fe	поверхность гладкая							
	поверхность шероховатая							

## 6. Обработка результатов измерений

1. Определить

$$n_c = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}. \quad (6.1)$$

2. Вычислить коэффициент трения  $K$  по формуле (2.4).

3. Вычислить логарифмический декремент затухания по формуле (2.9). Результаты вычислений занести в таблицу.

4. Сопоставить полученные результаты и вычислить абсолютную погрешность косвенного измерения.

$$\Delta K = K \cdot \sqrt{\frac{5}{18} \Delta \alpha^2 + \left(\frac{\Delta n}{n_{cp}}\right)^2}, \quad (6.2)$$

где  $\Delta \alpha = 0,5c = 0,25^\circ$ ,  $\Delta n = \Delta n_{cp}$ .

5. Проанализировать полученные результаты. Записать вывод.

## 7. Контрольные вопросы

1. Какова физическая сущность трения?
2. Какие бывают виды трения?
3. Коэффициент трения качения. В каких единицах измеряется, от чего зависит?
4. Какие колебания называются вынужденными, свободными?
5. Что такое затухающие колебания?
6. Что такое логарифмический декремент затухания?
7. Условия возникновения затухающих колебаний?

## Литература

1. Детлаф А.А. Курс физики. Т. 1. – М.: «Высшая школа». – 1973. – с. 95-99, 163-167.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: «Высшая школа». – 1998. – с. 225-258, 267.
3. Маятник наклонный ФПМ 07: Паспорт /ВСНПО «Союзприбор»/. – 1983.



## Содержание.

Цель работы. Теоретические основы работы .....	2
Описание установки. Вывод расчетных формул .....	3
Порядок выполнения работы .....	4
Данные установки и таблица результатов измерений .....	5
Обработка результатов измерений .....	5
Контрольные вопросы .....	6
Литература .....	6

Лабораторная работа № 3  
Изучение трения качения и затухающих колебаний маятника  
Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3  
по курсу « Физика»

В.П.Мельников,С.В.Кулешина

Редактор: Халдеева Г.П.  
Компьютерная верстка:Вдовенко Т.К.

Подписано в печать...5.06.00 г...Формат 60х90  $\frac{1}{6}$   
Усл.печ.листов.0,4.... Тираж....50 экз. ...Заказ 2.

Издатель ВФ МЭИ , 404110,г.Волжский,пр.Ленина, 69  
Отпечатано ВФ МЭИ, 404110,г.Волжский, пр.Ленина,69