

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

НАКЛОННЫЙ МАЯТНИК

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 14
по курсу общей физики**

Уфа 2005

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра физики

НАКЛОННЫЙ МАЯТНИК

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 14
по курсу общей физики

Уфа 2005

Составитель А.К. Хайретдинова
УДК 531.53(07)
ББК 22.21(Я7)

Наклонный маятник: Методические указания к лабораторной работе № 14 по курсу общей физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. А.К. Хайретдинова. – Уфа, 2005. – 12 с.

Методические указания знакомят студентов с природой силы трения качения на примере наклонного маятника. В качестве экспериментальной задачи предлагается определение коэффициента трения качения различных образцов

Предназначены для студентов вузов, изучающих курс общей физики по разделу «Механика».

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: Рабчук Л.В.;
Мамлеев Р.Ф.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2005

Составитель ХАЙРЕТДИНОВА Адиля Кашафовна

НАКЛОННЫЙ МАЯТНИК

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 14
по курсу общей физики

Подписано в печать 11.01.2005. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 0,8. Усл. кр.-отг. 0,9. Уч. – изд.л. 0,8.
Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
3. Экспериментальная часть.....	6
3.1. Описание установки.....	8
3.2. Требования по технике безопасности.....	9
3.3. Порядок выполнения работы.....	10
4. Контрольные вопросы.....	11
Список литературы.....	11

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

НАКЛОННЫЙ МАЯТНИК

1. Цель работы

1.1. Изучение силы трения качения.

1.2. Определение коэффициента трения качения.

2. Теоретическая часть

Рассмотрим движение шара массой m и моментом инерции J_c по горизонтальной поверхности под действием силы $F(x)$, приложенной к центру масс C , причем предположим, что тело и поверхность абсолютно жесткие, т.е. тело не деформируется, а касается поверхности в одной точке O (рис. 2.1.).

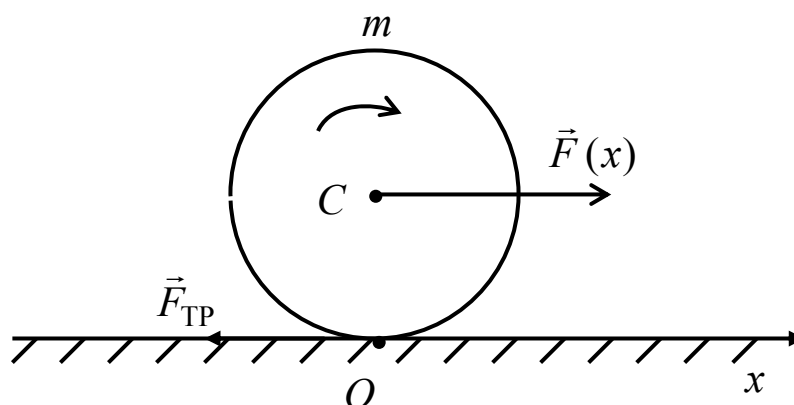


Рис. 2.1.

Со стороны поверхности на тело действует сила трения $F_{\text{тр}}$. Точки шара участвуют в двух видах движения: центр масс C движется поступательно вдоль оси x , точки поверхности шара вращаются вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр масс.

Уравнение движения шара на основе законов поступательного и вращательного движения имеют вид:

$$m a_c = F(x) - F_{\text{тр}}, \quad (2.1)$$

$$J_c \cdot \varepsilon = M, \quad (2.2)$$

где a_c – ускорение центра масс; ε – угловое ускорение шара; M – момент сил, действующих на тело, относительно оси, проходящей через центр масс; J_c – момент инерции шара

относительно оси, проходящей через точку C . Момент силы F относительно точки C равен нулю, следовательно:

$$M = M_{\text{ТР}} = F_{\text{ТР}} \cdot R. \quad (2.3)$$

По определению, $a_c = \frac{dv_c}{dt}$, $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$, где ω – угловая скорость;

v_c – линейная скорость центра масс.

Предположим, что шар движется по поверхности со слабым проскальзыванием. В этом случае скорость точки касания (точки O на рис. 2.1), являющейся скоростью проскальзывания, будет равна

$$u' = v_0 - \omega R, \quad (2.4)$$

причем $u' \ll v_0$.

Тело скользит по поверхности со скоростью u' , на него действует сила трения, совершающая отрицательную работу, вследствие чего полная механическая энергия системы уменьшается, т.е.

$$\frac{dE}{dt} = -F_{\text{ТР}} \cdot u', \quad (2.5)$$

где E полная механическая энергия равная

$$E = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2} + u(x). \quad (2.6)$$

Продифференцировав последнее соотношение и учитывая, что $\omega = \frac{v}{R}$

и что $\frac{du(x)}{dt} = \frac{du}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{du}{dx} \cdot v_c$, получим

$$\frac{dv_c}{dt} \left(m + \frac{J_c}{R^2} \right) = F(x) - F_{\text{ТР}} \cdot \frac{u'}{v_c}.$$

Оно аналогично уравнению движения материальных точек

$$m^* \vec{a} = \sum \vec{F}_i,$$

m^* – масса, равная

$$m^* = m + \frac{J_c}{R^2},$$

а $F_{\text{ТР}} \cdot \frac{u'}{v_c}$ – сила трения качения:

$$F_{\text{ТР.КАЧ}} = F_{\text{ТР}} \cdot \frac{u'}{v_c} . \quad (2.7)$$

На практике часто реализуется случай, когда сила трения качения не зависит от скорости тела. В этом случае скорость проскальзывания u' пропорциональна скорости тела, т.е.

$$u' = \varepsilon v_c \quad \text{и} \quad F_{\text{ТР.КАЧ}} = \varepsilon F_{\text{ТР}} . \quad (2.8)$$

Обычно коэффициент пропорциональности $\varepsilon \ll 1$.

Сила трения скольжения определяется силой нормальной реакции опоры N и коэффициентом трения скольжения μ :

$$F_{\text{ТР}} = \mu N .$$

Учитывая (2.8), получим для силы трения качения

$$F_{\text{ТР.КАЧ}} = \mu \varepsilon N = \mu^* N , \quad (2.9)$$

где $\mu^* = \varepsilon \mu$ – коэффициент трения качения.

3. Экспериментальная часть

В данной работе коэффициент трения качения определяется при изучении движения наклонного маятника. Наклонный маятник представляет собой закрепленный на длинной тонкой нити шар, который может кататься по наклонной плоскости (рис. 3.1, а). Если шар вывести из положения равновесия (ось OO') на угол α и затем отпустить, то он будет колебаться, катаясь около положения равновесия. Из-за трения колебания будут затухающими. Получим формулу, связывающую уменьшение амплитуды колебаний с коэффициентом трения скольжения μ .

При максимальном отклонении маятника от положения равновесия его скорость становится равной нулю, следовательно, и кинетическая энергия тоже будет равна нулю. Эти точки называются точками поворота. В них маятник останавливается, поворачивается и движется обратно. В точках поворота полная механическая энергия маятника равна его потенциальной энергии. Как указывалось выше, из-за трения происходит диссипация механической энергии. Уменьшение потенциальной энергии от одной точки (A) до другой точки (B) (рис. 3.1) равно работе силы трения на пути AB . Пусть в точке A нить маятника составляет угол α с осью OO' , а в точке B – угол $(\alpha - \Delta\alpha)$, т.е. за половину периода угол отклонения маятника

уменьшился на $\Delta\alpha$. Точка B расположена ниже точки A , поэтому потенциальная энергия в точке B меньше, чем в точке A . Потеря высоты за половину периода составляет Δh , следовательно, изменение потенциальной энергии равно

$$\Delta U = m g \Delta h. \quad (3.1)$$

Определим Δh . Спроектируем точки A и B на ось OO' (рис. 3.1, в), получим соответственно точки A' , B' .

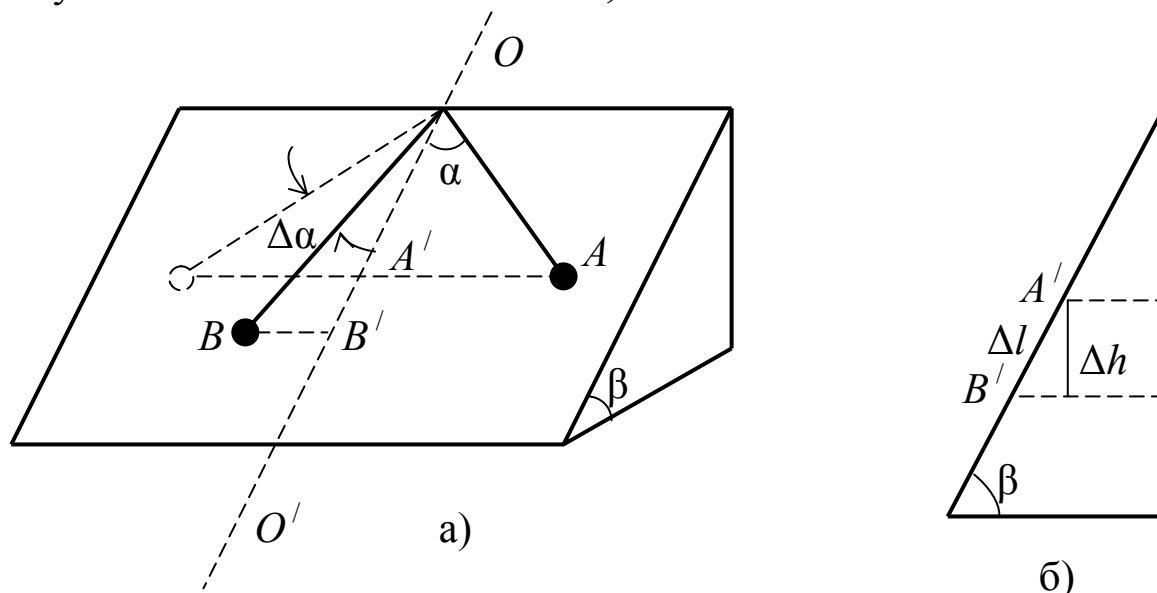


Рис. 3.1

Из рис. 3.1. а) видно, что

$$\Delta l = A'B' = l \cos(\alpha - \Delta\alpha) - l \cos \alpha, \quad (3.2)$$

где l – длина нити.

Из рисунка 3.1, б) следует, что

$$\Delta h = \Delta l \cos(90 - \beta) = l \sin \beta.$$

С учетом (3.2) последнее соотношение подставляем в (3.1):

$$\Delta U = m g l \sin \beta [\cos(\alpha - \Delta\alpha) - \cos \alpha]. \quad (3.3)$$

С другой стороны, изменение потенциальной энергии равно работе сил трения

$$\Delta U = A_{\text{ТР}}; \quad \Delta U = \mu N \Delta S, \quad (3.4)$$

где ΔS – длина дуги AB

$$\Delta S = l(2\alpha - \Delta\alpha), \quad (3.5)$$

N – сила нормальной реакции

$$N = m g \cos \alpha. \quad (3.6)$$

После подстановки формул (3.4) – (3.6) в выражение (3.3) и математических преобразований, получим для коэффициента трения

$$\mu = \operatorname{tg} \beta \frac{\Delta \alpha \sin \alpha}{2 \alpha - \Delta \alpha}, \quad (3.7)$$

откуда

$$\Delta \alpha = 2 \mu \operatorname{ctg} \beta \frac{\alpha}{\sin \alpha + \mu \operatorname{ctg} \beta}. \quad (3.8)$$

Если подобрать амплитуду α так, чтобы выполнялось условие

$$\mu \operatorname{ctg} \beta \ll \sin \alpha \ll 1, \quad (3.9)$$

то

$$\Delta \alpha = 2 \mu \operatorname{ctg} \beta. \quad (3.10)$$

Условие (3.9) выполняется в данной установке при $\alpha \approx 10^{-2}$ рад.

Формула (3.10) определяет потерю амплитуды α за время, равное половине периода, т.е. за половину колебания. Понятно, что за одно полное колебание потеря будет в два раза больше, а за n колебаний в $2n$ раз больше, т.е.

$$\Delta \alpha_n = 4n \mu \operatorname{ctg} \beta,$$

откуда

$$\mu = \frac{\Delta \alpha_n}{4n} \operatorname{tg} \beta. \quad (3.10)$$

3.1. Описание установки

На рисунке 3.2. представлен общий вид установки.

К основанию (2), оснащеному четырьмя ножками с регулируемой высотой, прикреплен миллисекундомер (1). В основании закреплена труба (3), на которой смонтирован корпус (4) с червячной передачей. Посредством оси червячная передача соединена с кронштейном (5), на котором прикреплены шкала I (6) и шкала II (7). В кронштейне закреплена колонка (8), на которой подвешен на нити шар (9) с водилкой. В кронштейн (5) по направляющим вводятся образцы (9).

Для наклонного маятника используется вороток (11). К кронштейну (5) привинчен фотоэлектрический датчик (12), соединенный с миллисекундомером.

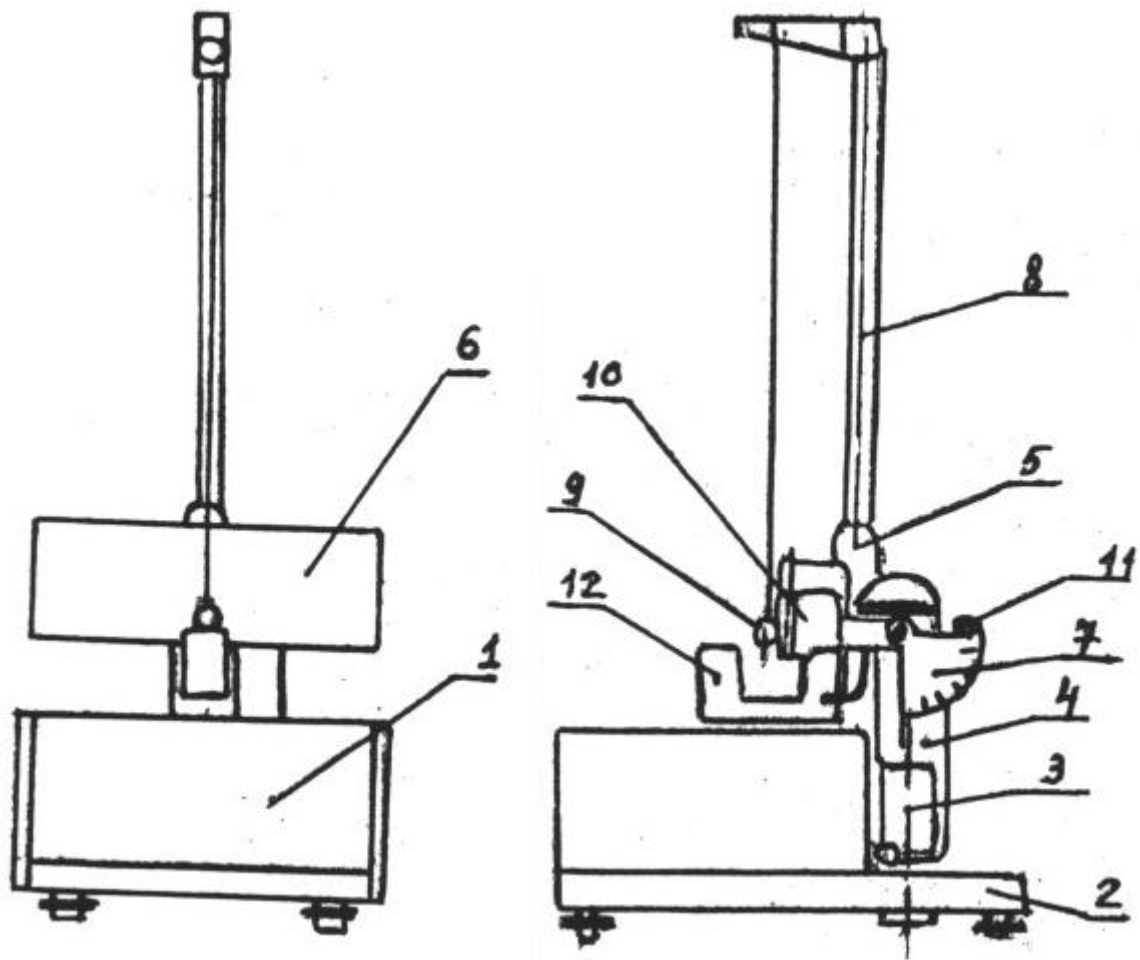


Рис. 3.2

3.2. Требования по технике безопасности

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с описанием установки и назначением отдельных ее частей (рис. 3.2).

2. Проверьте, подключен ли фотоэлектрический датчик к входному гнезду миллисекундомера.

3. Не оставляйте установку во включенном состоянии длительное время без присмотра.

4. Закончив измерения, отключите установку от сети, нажав переключатель «Сеть» и выдернув шнур из розетки сетевого напряжения.

3.3. Порядок выполнения работы

1. Включив шнур прибора в питающую сеть, нажмите переключатель «Сеть» и установите миллисекундомер в начальное состояние кнопкой «Сброс».

2. Установите наклонную плоскость под углом $\beta = 30^\circ$. Отведите маятник на угол $\alpha_0 = 8^\circ$, отпустите и, когда амплитуда колебаний уменьшится до $\alpha_n = 6^\circ$, прекратите измерения кнопкой «Стоп».

Вычислите коэффициент трения качения по формуле (3.10)

$$\mu = \frac{\alpha_0 - \alpha_n}{4n} \operatorname{tg} \beta ,$$

где n – число полных колебаний, а углы α_0 и α_n взяты в радианах.

3. Повторите эксперимент два раза, взяв за α_0 сначала 7° , затем 6° и для α_n соответственно 5° и 4° .

4. Установите наклонную плоскость под углами 45° и 60° и повторите измерения (пункты 2, 3).

5. Результаты опытов занесите в таблицу.

6. Вычислите относительную и абсолютную погрешности измерения коэффициента трения качения.

7. Запишите результат измерения коэффициента трения качения в виде

$$\mu = \mu_{\text{ср}} \pm \Delta \mu .$$

β , град.	α_0 , град.	α_n , град.	$\Delta\alpha$, рад.	n	μ	$\mu_{\text{ср}}$
30	8	6				
	7	5				
	6	4				
45	8	6				
	7	5				
	6	4				
60	8	6				
	7	5				
	6	4				

4. Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет уравнение движения шара, катящегося без проскальзывания по абсолютно твердой поверхности?
2. Как записывается полная механическая энергия катящегося шара?
3. Покажите, что при движении шара с проскальзыванием происходит диссипация полной механической энергии.
4. Какая физическая величина называется силой трения качения? Каким соотношением она определяется?
5. Каков физический смысл коэффициента трения качения?
6. Как зависит коэффициент трения качения от угла наклона плоскости к горизонту?

Список литературы

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика. – М.: Наука, 1989.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.