



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Учебно-методическое пособие по дисциплине

«Физика»

Авторы

Гордеева А.Б., Гребенюк Т.И.,
Дорохова Н.В., Ковалева В.С.

Ростов-на-Дону, 2022



Аннотация

Пособие предназначено для студентов технических направлений 1 курса ДГТУ.

Авторы

А.Б.Гордеева к.т.н., доцент,
Т.И.Гребенюк к.ф.-м.н, доцент,
Н.В.Дорохова к.ф.-м.н., доцент,
В.С.Ковалева к.т.н., доцент



Оглавление

Изучение затухающих колебаний на примере физического маятника. Методические указания по физике к лабораторной работе № 1-11 (раздел «Механика»)4

Лабораторная работа 1-11 Изучение затухающих колебаний на примере физического маятника. 4

Определение коэффициента трения качения цилиндра на наклонной плоскости Методические указания по физике к лабораторной работе № 1-6 для студентов технических специальностей ДГТУ (Раздел «Механика»)11

Лабораторная работа № 1-6 определение коэффициента трения качения цилиндра на наклонной плоскости11

Определение момента инерции твердого тела методом физического маятника. Методические указания по физике к лабораторной работе № 1-10 (раздел «Механика») ...19

Лабораторная работа 1 – 10 Определение момента инерции твердого тела методом физического маятника19

ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ФИЗИКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1-11 (РАЗДЕЛ «МЕХАНИКА»)

Лабораторная работа 1-11

Изучение затухающих колебаний на примере физического маятника.

Цель работы: Определение опытным путем логарифмического декремента затухающих колебаний физического маятника.

Приборы и принадлежности: 1. Физический маятник; 2. шкала; 3. секундомер.

1. Краткая теория.

Колебаниями называются процессы, отличающиеся той или иной степенью повторяемости. В зависимости от физической природы повторяющегося процесса различают колебания: механические, электромагнитные, электромеханические и т.д.

Физическим маятником называется твердое тело, колеблющееся относительно неподвижной горизонтальной оси (оси подвеса), не проходящей через центр тяжести.

Во всякой реальной колебательной системе всегда имеются силы сопротивления (например, это может быть сила трения в точке подвеса, сопротивление среды, в которой совершаются колебания). Действие этих сил приводит к тому, что энергия колеблющейся системы непрерывно убывает. Эта убыль энергии будет равна работе против сил трения и сопротивления. Т.к. полная энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды

$$E = \frac{kA^2}{2}$$

ды $\frac{kA^2}{2}$, то наличие сил трения и сопротивления приведет и к непрерывному убыванию амплитуды колебаний. Если убыль энергии не восполняется за счет работы внешних сил, то колебания будут затухать и носят название затухающих.

Рассмотрим свободные (или собственные) колебания. Это значит, что система, будучи выведена из положения равновесия в результате внешнего воздействия, в дальнейшем предоставлена самой себе и находится под воздействием только квазиупругой

силы $F = -kx$ и силы сопротивления среды. Такая система будет совершать затухающие колебания вдоль оси "x". Ограничимся рассмотрением малых колебаний, тогда и скорость системы v будет малой, а при небольших скоростях сила сопротивления пропорциональна скорости:

$$f = -rv = -rx,$$

Где r – коэффициент сопротивления среды. Знак минус "-" показывает, что \vec{f} и \vec{v} имеют противоположные направления.

Под действием сил \vec{F} и \vec{f} тело приобретает ускорение \vec{a} , и для колеблющегося тела уравнение II-закона Ньютона имеет вид:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{f} \quad \text{или} \quad mx = -kx - rx.$$

Разделим все члены уравнения на m и обозначим $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$; , тогда

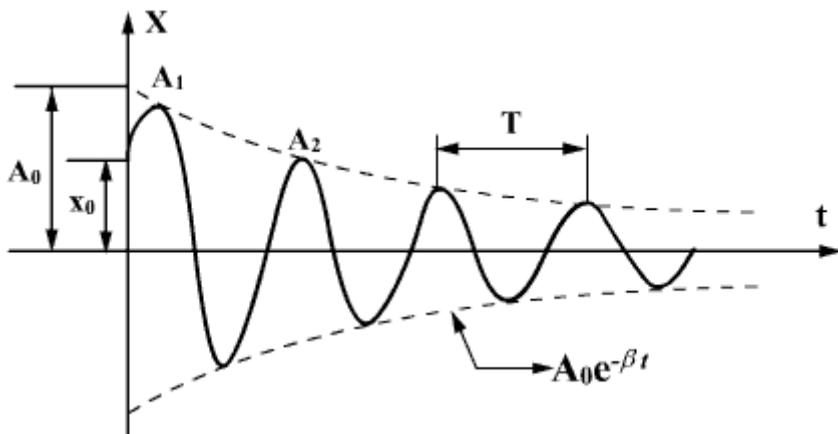
$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1)$$

– дифференциальное уравнение затухающих колебаний. Здесь ω_0 – та частота, с которой совершались бы свободные колебания системы при отсутствии сопротивления среды (т.е. при $r = 0$). Эта частота называется собственной частотой колебаний системы. β – коэффициент затухания колебаний (зависит от свойств данной системы и среды).

В случае малого сопротивления среды $\beta^2 \ll \omega_0^2$, решением уравнения (1) будет функция

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha), \quad (2)$$

где A_0 – начальная амплитуда колебаний; β – коэффициент затухания; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – круговая частота колебаний; α – их начальная фаза. График затухающих колебаний имеет вид, показанный на рисунке.



Затухающие колебания представляют собой непериодические колебания, т.к. в них никогда не повторяются, например, максимальные значения смещения, скорости и ускорения. Вели-

чину $T = \frac{2\pi}{\omega}$ обычно называют периодом затухающих колебаний, правильнее - условным периодом затухающих колебаний.

Натуральный логарифм отношения амплитуды смещения предыдущего колебания к амплитуде последующего называют логарифмическим декрементом затухания:

$$\lambda = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)}{A_0 e^{-\beta(t+T)} \cos(\omega t + \alpha)} = \ln e^{\beta T} = \beta T$$

Обозначим через τ промежуток времени, за который амплитуда колебаний уменьшается в e раз. Тогда

$$\frac{A_0}{A_e} = e^{\beta \tau} = e$$

откуда

$$\beta = \frac{1}{\tau}$$

Следовательно, коэффициент затухания есть физическая величина, обратная промежутку времени τ , в течение которого амплитуда убывает в e раз. Величина τ называется временем релаксации.

Пусть N - число колебаний, после которых амплитуда уменьшается в e раз, тогда

$$\lambda = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{T}{NT} = \frac{1}{N}$$

Следовательно, логарифмический декремент затухания λ есть физическая величина, обратная числу колебаний N , по истечению которых амплитуда убывает в e раз.

Практически удобно логарифмический декремент затухания находить из логарифма отношений амплитуд, отстоящих друг от друга на N периодов, когда амплитуда колебаний уменьшается заметно (в два-три раза), что позволяет найти искомую величину со значительно большей точностью.

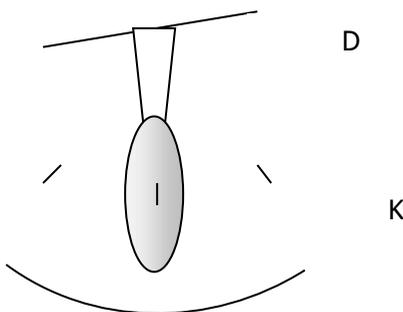
В этом случае отношение соответствующих амплитуд будет

$$\frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+NT)}} = e^{\beta NT}$$

откуда

$$\lambda = \ln \left(\frac{A_0}{A_N} \right)^{\frac{1}{N}} = \frac{1}{N} \ln \frac{A_0}{A_N} \quad (3)$$

2. Описание экспериментальной установки.



Механической системой, совершающей затухающие колебания в данной работе, является специальный физический маятник, состоящий из металлического круга, жестко скрепленного с рамой. Маятник может совершать колебания относительно стержня рамы CD. Под маятником расположена шкала К. При отклонении маятника на угол 10^0 - 15^0 от положения равновесия (при амплитуде не больше 30 см) сила сопротив-

ления воздуха будет пропорциональна скорости движения маятника, поэтому уравнение движения маятника будет описываться уравнением (2).

3. Порядок выполнения лабораторной работы.

Задание 1. Определение логарифмического декремента затухания колебаний физического маятника.

1. Отклонить маятник от положения равновесия и измерить по шкале начальную амплитуду A_0 (не более 30 см).
2. Без толчка предоставить маятнику возможность совершать свободные колебания; отсчитать N_1 число полных колебаний (задаётся преподавателем) и измерить амплитуду A_m . Опыт повторить три раза. Измерения занести в таблицу 1.
3. Прodelать такие же измерения для значения N_2 (задаётся преподавателем). Опыт также повторить три раза. Измерения занести в таблицу 1.
4. Рассчитать значение λ по формуле (3). Вычислить среднее значение, абсолютную и относительную погрешности по формулам для прямых измерений:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{n} \sum \lambda_i, \quad \Delta \lambda, \quad \delta \lambda = \frac{\Delta \lambda}{\langle \lambda \rangle} 100\%, \quad \text{где } n\text{-число измерений.}$$

5. Результат представить в виде $\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda$.

Задание 2. Построение графика зависимости $A = f(t)$.

1. Дать возможность маятнику совершать свободные колебания и измерять время и амплитуды колебаний через 2-8 периодов (не менее шести точек). Измерения занести в таблицу 2.
2. Откладывая по оси ординат амплитуду колебаний A , а по оси абсцисс – время в единицах периода, построить график зависимости $A = f(t)$.

Физика



Таблица 1.

$A_0 = 0,3 \text{ м}$	$A_n, \text{ м}$	λ	λ_0	$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda, \%$
$N_1 =$					
$N_2 =$					

Таблица 2.

N	$t, \text{ с}$	$T, \text{ с}$	$A, \text{ м}$
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Контрольные вопросы

1. Дайте определение затухающих колебаний, запишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Поясните физический смысл входящих в него величин.
2. Дайте определение периода, частоты и циклической частоты колебаний. Покажите, как они связаны между со-

бой.

3. Дайте определение физического маятника.
4. Объясните физический смысл коэффициента логарифмического декремента затухания.
5. Как изменится декремент и логарифмический декремент затухания, если маятник поместить в воду.

Рекомендуемая литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. Шк., 2004.
3. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: Учеб.-метод. пособие. -Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008.
4. Колебания и волны: Учебное пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ФИЗИКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1-6 ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ДГТУ (РАЗДЕЛ «МЕХАНИКА»)

Лабораторная работа № 1-6 определение коэффициента трения качения цилиндра на наклонной плоскости

Цель работы: изучить физические причины возникновения сил трения, изучить теорию метода определения коэффициента трения качения, определить экспериментально коэффициент трения качения для различных пар материалов.

Оборудование: наклонная плоскость с меняющимся углом наклона и различными материалами поверхности, секундомер с фотодатчиками, линейка, штангенциркуль, набор цилиндров.

Краткая теория

Трением называют механическое сопротивление, возникающее при относительном перемещении двух соприкасавшихся тел в плоскости их контакта. Сила сопротивления относительному перемещению, направленная противоположно ему, называется силой трения. Силы трения возникают в результате электрического взаимодействия между молекулами и атомами соприкасающихся тел.

Силы трения скольжения появляются при перемещении соприкасающихся тел или их частей относительно друг друга и направлены так, чтобы препятствовать этому перемещению.

Силой трения покоя называется сила, возникающая на границе соприкосновения тел при попытке вызвать движение. Она направлена в сторону, противоположную направлению предполагаемого движения. Сила трения покоя равна по модулю внешней силе, направленной по касательной к поверхности соприкосновения тел, и противоположна ей. Максимальная сила трения покоя примерно равна силе трения скольжения.

Сила трения качения возникает при движении цилиндрического

перед катящимся телом и выпрямлением его за катящимся телом, а также работа по формированию валика на поверхности материала перед катящимся телом.

Вывод основного закона для силы трения качения

Для трения качения существенное значение имеет характер распределения деформации поверхности, по которой катится тело, и, соответственно, сил реакции поверхности. Предположим, что деформации симметричны относительно вертикального диаметра тела (рис.1). В этом случае симметричны и силы реакции, а их равнодействующая направлена вертикально вверх вдоль диаметра. Т.к. горизонтальная составляющая реакции опоры равна нулю, то, по второму закону Ньютона, ускорение отсутствует, и тело будет катиться с постоянной скоростью бесконечно долго, что противоречит опыту. Для того, чтобы возникла горизонтальная составляющая реакции, направленная против движения, необходимо, чтобы деформации поверхности были несимметричны относительно вертикального диаметра тела (рис.2).

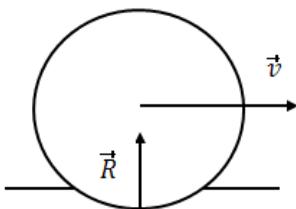


Рис. 1

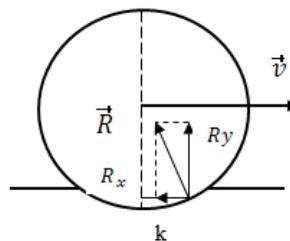


Рис. 2

В этом случае давление впереди вертикального диаметра больше, и равнодействующая сил реакции приложена впереди него, образуя тупой угол с направлением движения. Тогда горизонтальная составляющая реакции (R_x) направлена против движения, уменьшая скорость поступательной части движения. Но эта составляющая должна вызвать увеличение угловой скорости вращения тела, т.е. вызвать проскальзывание. Этому препятствует вторая, вертикальная составляющая реакции (R_y), момент которой уменьшает угловую скорость вращения.

Предположим, что точка приложения реакции \vec{R} смещена на расстояние k от вертикального диаметра (k является "плечом" нормальной составляющей реакции R_y). Для определения силы трения качения экспериментальным путем к оси катка прикладывают силу, достаточную для равномерного его качения по поверхности. Равномерное движение означает, что внешняя сила уравновешена горизонтальной составляющей реакции (рис.3).

Равенство же нулю углового ускорения свидетельствует о том, что сумма моментов сил, приложенных к катку, также равна нулю. Относительно центра катка момент внешней силы F и силы тяжести mg равны нулю, т.к. линии действия сил проходят через центр. Отличны от нуля моменты составляющих реакции R_x и R_y , но их сумма также равна нулю, т.е. эти моменты по величине равны

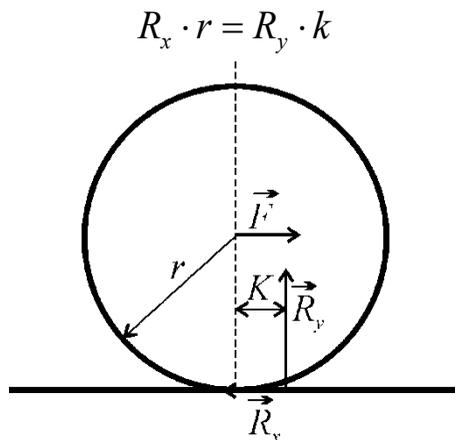


Рис. 3.

Учтем, что горизонтальная составляющая реакции равна внешней силе \vec{F} , величину которой мы и приравниваем силе трения качения. Кроме того, вертикальная составляющая реакции $R_y = N$ уравновешивает силу тяжести катка. С учетом сказанного соотношение (2) можно переписать в виде

$$F_{\text{тр}} = K \frac{N}{r}$$

Это и есть основной закон для силы трения качения. Коэффициент k ("плечо" нормальной составляющей реакции), называют коэффициентом трения качения. В отличие от коэффициента трения скольжения, он является размерной величиной, имеет размерность длины. Коэффициент трения качения определяется материалами, состоянием поверхностей тел и условиями качения.

Вывод формулы для коэффициента трения качения для цилиндра, скатывающегося по наклонной плоскости

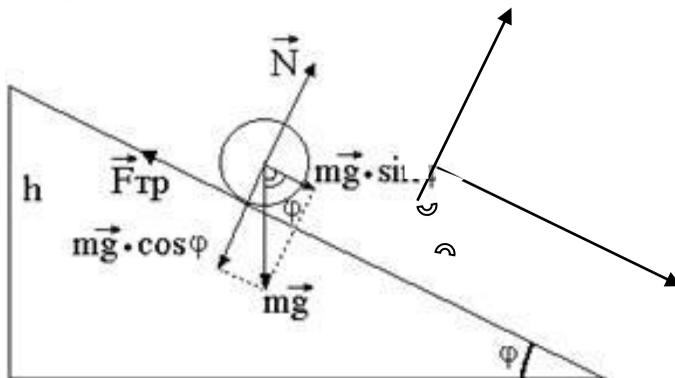


Рис. 4

Цилиндр, скатываясь с наклонной плоскости, находится под действием трех сил: силы тяжести $m\vec{g}$, силы трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ и

реакции наклонной плоскости \vec{N} (рис. 4). Реакция \vec{N} по второму закону Ньютона равна по модулю нормальной составляющей силы тяжести $N = mg \cos \varphi$.

Трение между цилиндром и наклонной плоскостью возникает в точках соприкосновения. Эти точки цилиндра в каждый момент времени неподвижны (они образуют мгновенную ось вращения). Скольжение при качении цилиндра по плоскости будет отсутствовать при условии, что линейная скорость точек соприкосновения будет равна нулю, что выполняется, если скорость центра масс \vec{V} в каждый момент времени равна:

$$V = \omega r,$$

где ω – угловая скорость, r – радиус цилиндра. Соответственно, ускорение центра инерции a будет равно:

$$a = \varepsilon r, \quad (4)$$

где ε - угловое ускорение. При соблюдении этих условий цилиндр будет скатываться без проскальзывания.

В проекции на направление движения второй закон Ньютона для тела, скатывающегося с наклонной плоскости, имеет вид:

$$ma = mg \sin \varphi - F_{mp} \quad (5)$$

Момент силы трения относительно оси цилиндра будет отличен от нуля и равен $F_{mp} r$. Тогда с учетом основного закона динамики для вращательного движения твердого тела можно записать:

$$J\varepsilon = F_{mp} r. \quad (6)$$

где $J = \frac{1}{2}mr^2$ — момент инерции цилиндра относительно оси его вращения.

Решая совместно уравнения (4,5,6) получаем

$$F_{mp} = \frac{1}{3}mg \sin \varphi. \quad (7)$$

Так как закон трения качения имеет вид (3):

$$F_{тр} = k \frac{N}{r},$$

то из (3) и (7) получаем теоретическое значение коэффициента трения качения:

$$K_{теор.} = \frac{1}{3}rtg\varphi. \quad (8)$$

Задание 1. Экспериментальное определение коэффициента трения качения

Выразим коэффициент трения качения из формулы (3):

$$K = \frac{F_{тр} r}{N}.$$

По второму закону Ньютона в проекциях на оси координат

(см. рис.4)

$$-F_{\text{тр}} + mg \sin \varphi = ma \Rightarrow F_{\text{тр}} = mg \sin \varphi - ma;$$

$$N - mg \cos \varphi = 0 \Rightarrow N = mg \cos \varphi.$$

Тогда
$$K = \frac{(mg \sin \varphi - ma)r}{mg \cos \varphi} = r \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{a}{g \cos \varphi} \right).$$

Из формулы пути для равноускоренного движения с учетом $v_0=0$, получаем

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

Следовательно, коэффициент трения качения определяется по формуле:

$$K_{\text{эксп.}} = r \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{2S}{t^2 g \cos \varphi} \right), \quad (9)$$

где r —радиус цилиндра, φ —угол наклона плоскости.

На наклонной плоскости смонтированы два фотодатчика на расстоянии S друг от друга. Цилиндр устанавливается около первого (верхнего) фотодатчика у нанесенной черты, а затем отпускается без толчка. При движении тела первый фотодатчик включает секундомер. Когда тело достигнет второго (нижнего) фотодатчика отсчет времени t заканчивается.

Порядок выполнения

1. Измерить радиус цилиндра.
2. Измерить промежуток времени, за которое цилиндр проходит расстояние между фотодатчиками, при углах наклона 25, 30, 35 и 40°. При каждом угле наклона измерения провести 5 раз и найти среднее значение. Результаты измерений занести в таблицу.
3. По формуле (9) рассчитать экспериментальное значение коэффициента трения качения $K_{\text{эксп.}}$ для каждого угла наклона.
4. По формуле (8) рассчитать теоретическое значение коэффициента трения качения $K_{\text{теор}}$ для каждого угла наклона плоскости.
5. Найти абсолютные и относительные погрешности определения коэффициента трения качения для каждого угла φ :

$$\Delta K = |K_{\text{теор.}} - K_{\text{эксп.}}|,$$

$$\delta K = \frac{\Delta K}{K_{теор.}} \cdot 100\% .$$

6. Повторить измерения для цилиндра другого радиуса и другого материала поверхности наклонной плоскости.

φ , град	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$t_{ср}$, с	$K_{эксп.}$, М	$K_{теор.}$ М	ΔK , М	$\Delta K, \%$
25										
30										
35										
40										

Задание 2. Экспериментальное определение коэф- фициента трения скольжения

На тело, скользящее по наклонной плоскости, действуют три силы: тяжести, трения, реакции опоры. При этом сила трения скольжения пропорциональна силе реакции опоры

$$F_{тр} = \mu N ,$$

где μ – коэффициент трения скольжения, зависящий от материалов соприкасающихся тел и качества обработки их поверхностей.

При скольжении тела по наклонной плоскости коэффициент трения определяется по формуле:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi - \frac{2S}{t^2 g \cos \varphi} . \quad (10)$$

Порядок выполнения

1. Измерить промежуток времени, за которое тело проходит расстояние между фотодатчиками, при углах наклона 25, 30, 35 и 40°. При каждом угле наклона измерения провести 5 раз и найти среднее значение. Результаты измерений занести в таблицу.

φ , град	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$t_{ср}$, с	μ	$\Delta \mu$
25								
30								
35								
40								

2. По формуле (10) рассчитать коэффициент трения

Физика

скольжения μ для каждого угла наклона. Найти среднее значение коэффициента трения:

$$\mu_{\text{ср}} = (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4) / 4$$

3. Рассчитать абсолютные погрешности отдельных измерений:

$$\Delta\mu_i = |\mu_i - \mu_{\text{ср}}|$$

4. Найти среднее значение абсолютной погрешности $\Delta\mu_{\text{ср}}$:

$$\Delta\mu_{\text{ср}} = (\Delta\mu_1 + \Delta\mu_2 + \Delta\mu_3 + \Delta\mu_4) / 4$$

5. Рассчитать относительную погрешность определения коэффициента трения скольжения:

$$\delta\mu = \frac{\Delta\mu_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}}$$

6. Записать результат в виде: $\mu = \mu_{\text{ср}} \pm \Delta\mu_{\text{ср}}$

Контрольные вопросы

1. Виды трения. Природа сил трения.
2. Что такое трение скольжения?
3. Что такое трение покоя?
4. Что такое трение качения?
5. Вывод формулы для теоретического значения коэффициента трения качения цилиндра на наклонной плоскости.
6. Дайте определение коэффициента трения качения. От чего он зависит?
7. Записать формулу силы трения скольжения.
8. От чего зависит коэффициент трения скольжения?

Рекомендуемая литература

5. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
6. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. Шк., 2004.
7. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: Учеб.-метод. пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
8. Федосеев В.Б. Физика. Ростов н/Д: Феникс, 2009.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ФИЗИКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1-10 (РАЗДЕЛ «МЕХАНИКА»)

Лабораторная работа 1 – 10 Определение момента инерции твердого тела методом физического маятника

Цель работы: Изучить колебательный процесс на примере физического маятника. Определить момент инерции физического маятника.

Оборудование: два тонкостенных обруча разного диаметра в качестве физического маятника, линейка, штангенциркуль, секундомер.

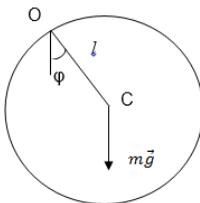
Краткая теория

Физическим маятником называют твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через его центр масс (см. рисунок).

O — точка подвеса маятника (неподвижная горизонтальная ось);

C — центр масс тела;

l — расстояние от точки подвеса до центра масс.



При отклонении маятника от положения равновесия на угол φ возникает вращательный момент, стремящийся вернуть маятник в положение равновесия. Этот момент равен:

$$M = -m g l \sin \varphi, \quad (1)$$

где l — расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника, m — масса физического маятника.

Знак " - " означает, что вращательный момент имеет такое направление, что стремится вернуть маятник в положение равнове-

сия.

На основании основного уравнения динамики вращательного движения можно написать:

$$J \ddot{\varphi} = -mgl \sin \varphi, \quad (2)$$

где J – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса, $\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение маятника.

В случае малых колебаний ($\sin \varphi \approx \varphi$), уравнение (2) можно записать:

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (3)$$

где
$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J} = \frac{4\pi^2}{T^2} \quad (4)$$

Из уравнения (3) следует, что при малых отклонениях от положения равновесия физический маятник совершает гармонические колебания. Период колебаний можно определить из (4):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}} \quad (5)$$

По формуле (6) найдем момент инерции, полученный из (5):

$$J = \frac{T^2}{4\pi^2} mgl \quad (6)$$

Порядок выполнения работы

1. Измерить внутренний радиус R , толщину B и ширину каждого обруча L . Результаты записать в таблицу.

2. Определить массу каждого обруча по формуле:

$$m = 2\pi \rho R B L$$

где ρ — плотность материала, $\rho = (7800 \pm 50) \text{ кг/м}^3$.

3. Измерить время t , за которое маятник (обруч) совершит n полных колебаний (количество колебаний задает преподаватель).

4. Измерения времени повторить 3 раза. Результаты записать в таблицу.

5. Определить период колебаний маятника по формуле:

$$T = \frac{\langle t \rangle}{n}$$

5. Вычислить экспериментальное значение момента инерции физического маятника по формуле (6), используя среднее значение T и

$$l = R:$$

$$I = \frac{T^2 m g R}{4\pi^2}$$

6. Рассчитать относительную погрешность измерений:

$$\delta J = \frac{\Delta J}{J} = \frac{2\Delta T}{T} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{2\Delta R}{R} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta g}{g},$$

где $\Delta T = \Delta t / n$ — абсолютная погрешность определения периода.

7. Рассчитать абсолютную погрешность измерений:

$$\Delta J = J \delta J$$

8. Записать результат в виде:

$$J = J \pm \Delta J, \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

9. Вычислить теоретическое значение момента инерции по формуле:

$$J = mR^2$$

10. Сравнить экспериментальное значение момента инерции с теоретическим:

$$\frac{|J - J_{\text{теор}}|}{J} 100\%$$

11. Пункты 3-10 повторить для второго обруча. Результаты записать в таблицу.

Таблица

Первый обруч	№п/п	R, м	B, м	L, м	m, кг	n	t, с	$\langle t \rangle$, с	Δt , с	$\langle \Delta t \rangle$, с	$\langle T \rangle$, с	$\langle \Delta T \rangle$, с	I, кг м ²	ΔI , кг м ²	δI , %
	1														
	2														
	3														

Второй обруч	№п/п	R, м	B, м	L, м	m, кг	n	t, с	$\langle t \rangle$, с	Δt , с	$\langle \Delta t \rangle$, с	$\langle T \rangle$, с	$\langle \Delta T \rangle$, с	I, кг м ²	ΔI , кг м ²	δI , %
	1														
	2														
	3														

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называются механическими? свободными? гармоническими?
2. Дайте определения амплитуды, фазы, периода, частоты и циклической частоты колебания?
3. Как можно определить период колебаний маятника экспериментально?
4. Запишите уравнение гармонического колебания, поясните физический смысл всех входящих в него величин.
5. Получите формулу для расчета максимальной скорости колеблющейся точки.
6. Получите формулу для расчета максимального ускорения колеблющейся точки.
7. Дайте определение физического маятника.
8. Выведите формулу периода колебаний физического маятника.
9. Дайте определение момента инерции тела.
10. Сформулируйте теорему Штейнера.
11. Дайте определения момента силы, углового ускорения.
12. Запишите формулу дифференциального уравнения свободных колебаний физического маятника.

Рекомендуемая литература

9. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
10. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. Шк., 2004.
11. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: Учеб.-метод. пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
12. Федосеев В.Б. Физика. Ростов н/Д: Феникс, 2009.