



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Лабораторная работа М-6 «Определение момента сил трения и момента инерции махового колеса»

по дисциплине
«Физика»

Авторы
Жданова Т.П.,
Илясов В.В.,
Кудря А.П.,
Лемешко Г.Ф.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Лабораторный практикум содержит краткое описание рабочей установки и методику определения момента сил трения и момента инерции махового колеса.

Методические указания предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения при выполнении лабораторного практикума по физике (раздел «Механика и молекулярная физика»).

Авторы

доцент, к.ф.-м.н., Жданова Т.П.,
профессор, д.т.н., Илясов В.В.,
ст. преп., Кудря А.П.,
профессор, к.ф.-м.н., Лемешко Г.Ф.



Оглавление

Определение момента сил трения и момента инерции махового колеса	4
Теоретическая часть.....	4
Описание экспериментальной установки.	6
Вывод рабочих формул.....	6
Порядок выполнения лабораторной работы:	9
Контрольные вопросы	12
Рекомендуемая литература	12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СИЛ ТРЕНИЯ И МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАХОВОГО КОЛЕСА

Цель работы: Определение момента сил трения, момента инерции махового колеса и сравнение его с теоретическим расчётом.

Оборудование: экспериментальная установка, секундомер, штангенциркуль.

Теоретическая часть

Моментом инерции материальной точки называется скалярная величина, равная произведению массы точки на квадрат расстояния от точки до оси вращения:

$$I = m \cdot r^2.$$

Моментом инерции твердого тела называется сумма моментов инерции материальных точек, из которых состоит тело:

$$I = \sum_i m_i r_i^2.$$

Момент инерции – это мера инертности при вращательном движении (в этом состоит физический смысл момента инерции).

В случае непрерывного распределения масс момент инерции может быть определен интегралом: $I = \int r^2 dm$, где интегрирование ведется по всему объёму тела. Величина r – функция положения точки с координатами x , y и z .

Момент инерции зависит от массы тела и формы распределения массы относительно оси вращения.

Теорема Штейнера

$$I = I_c + ma^2,$$

где I_c – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс; I – момент инерции этого тела относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстоянии a ; m – масса тела.

Моментом силы относительно неподвижной точки называется векторная физическая величина, определяемая векторным произведением радиус-вектора \vec{r} , проведенного из данной точки в точку приложения силы, на силу \vec{F} :

$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}].$$

Модуль момента силы относительно неподвижной оси:

$$M = Fr \sin \alpha = Fl,$$

где $l = r \sin \alpha$ – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения); α – угол между направлениями силы и радиуса-вектора. Направление момента силы совпадает с осью, относительно которой происходит вращение, и может быть определено по правилу буравчика.

Работа при вращении тела

$$dA = M_z d\varphi,$$

где $d\varphi$ – угол поворота тела; M_z – момент силы относительно оси z .

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси z :

$$M_z = I_z \frac{d\omega}{dt} = I_z \varepsilon,$$

где $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение; I_z – момент инерции тела

относительно оси z , M_z – момент силы относительно оси z .

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z ,

$$E_{вр} = \frac{I_z \omega^2}{2},$$

где I_z – момент инерции тела относительно оси z ; ω – его угловая скорость.

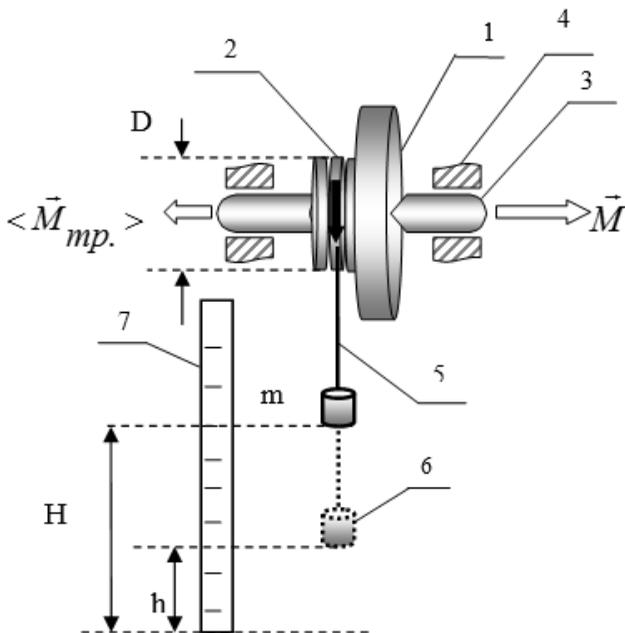
Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения,

$$E = \frac{1}{2} m v_c^2 + \frac{1}{2} I_c \omega^2,$$

где m – масса тела; v_c – скорость центра масс тела; I_c – момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; ω – угловая скорость тела.

Описание экспериментальной установки.

Вывод рабочих формул



Измерительная установка состоит из махового колеса (диска) 1 со шкивом 2, насаженного на вал 3, установленный на шарикоподшипниках 4. На шкив наматывается эластичная нить 5, к концу которой крепится груз 6, масса которого задана. Положение груза фиксируют по отсчетной линейке 7.

1) Если груз массы m опускается с высоты H , а потом поднимается на высоту $h < H$, то можно сказать, что потенциальная энергия системы «маховое колесо-груз» убывает за счет работы среднего момента сил трения:

$$A_{мп.} = -\Delta E_n = - (mgh - mgH) = mg(H - h). \quad (1)$$

Средний момент сил трения обусловлен трением оси в подшипниках, махового колеса о воздух. Потерей энергии на деформацию нити и трение груза о воздух пренебрегаем.

Работа среднего момента сил трения можно выразить через угловое перемещение колеса φ :

Физика

$$A_{mp.} = \langle M_{mp} \rangle \cdot \varphi. \quad (2)$$

Угловое перемещение φ равно сумме углового перемещение при опускании φ_1 и подъёме груза φ_2 :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (3)$$

Угловое перемещение колеса φ связано с числом его оборотов N соотношением $\varphi = 2\pi N$. Число оборотов N можно найти, зная диаметр шкива и длину нити наматываемой на шкив

$$N_1 = \frac{H}{\pi D} \text{ и } N_2 = \frac{h}{\pi D}, \quad (4)$$

С учетом (4) $\varphi_1 = \frac{2H}{D}$ и $\varphi_2 = \frac{2h}{D}$, а выражение (3) примет вид

$$\varphi = 2 \frac{H + h}{D}. \quad (5)$$

Подставим (5) в (2) получим

$$A_{mp.} = \langle M_{mp} \rangle \cdot \frac{2(H + h)}{D} \quad (6)$$

Из (1) и (6) получаем выражение для вычисления момента сил трения:

$$\langle M_{mp} \rangle = \frac{mg(H - h)D}{2(H + h)}, \quad (7)$$

где m - масса груза, D - диаметр шкива, H - высота падения, h - высота подъема.

2) Если груз из верхней точки опускается в нижнюю, то потенциальная энергия груза (mgH) превращается в кинетическую энергию поступательного движения груза ($\frac{mv^2}{2}$), вращательного движения диска ($\frac{I\omega^2}{2}$) и работу среднего момента сил трения ($A_{mp.}$). Вращением шкива и вала пренебрегаем.

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + A_{mp.} \quad (8)$$

Работа среднего момента сил трения:

$$A_{mp} = \langle M_{mp} \rangle \cdot \varphi_1 = \frac{mg(H-h)D}{2(H+h)} \cdot \frac{2H}{D} \quad (9)$$

С учетом (9), уравнение (8) примет вид:

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + \frac{mg(H-h)H}{(H+h)} \quad (10)$$

Учитывая, что линейная скорость движения груза $v = at = \frac{2H}{t}$ и $v = \omega \cdot r = \omega \cdot D/2$ где D - диаметр шкива, на который наматывается нить, t - время движения груза до нижней точки, получим выражение для угловой скорости шкива

$$\omega = \frac{2v}{D} = \frac{4H}{D \cdot t} \quad (11)$$

Совместное решение (10) и (11) позволяет определить момент инерции махового колеса:

$$I_{\text{эксп.}} = \frac{m \cdot D^2}{4} \left[\frac{gt^2 h}{H(H+h)} - 1 \right], \quad (12)$$

где m - масса груза, D - диаметр шкива, H - высота падения, h - высота подъема, t - время падения.

Порядок выполнения лабораторной работы:

ЗАДАНИЕ 1. Определение среднего момента сил трения и момента инерции махового колеса.

1. Занести в таблицу 1 все известные величины и их абсолютные погрешности, указанные на установке: m - масса груза, R - радиус диска, ρ - плотность материала диска, d - толщина диска, D - диаметр шкива.
2. Вращая маховое колесо, зафиксировать груз в верхнем положении на высоте H , указанной преподавателем. При этом надо следить за тем, чтобы нить наматывалась виток к витку. Удерживать груз в верхнем положении. Занести H в таблицу 1.
3. Груз отпустить и одновременно включить секундомер, а в момент пересечения грузом нижнего положения нажать кнопку «стоп» на секундомере. Произвести отсчёт времени падения груза t по секундомеру.
При этом груз не останавливать.
4. Колесо по инерции будет вращаться, и груз поднимется на некоторую высоту h , которая меньше H . Измерить высоту подъёма груза h .
5. Повторить измерения 5 раз. Все значения t и h занести в таблицу 2.
6. Вычислить по формуле (7) средний момент сил трения (для среднего значения h).
7. Вычислить по формуле (12) момент инерции махового колеса $I_{\text{эсп}}$ (для средних значений времени t и h).
8. Результаты вычислений по формулам (7) и (12) занести в таблицу 3.
9. Произвести статистическую обработку результатов измерения времени t и заполнить таблицы 2 и 4.
10. Вычислить относительные и абсолютные погрешности по формулам (13) – (16) и занести в таблицу 3:

Физика

$$\delta M_{mp.} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta H + \langle \Delta h \rangle}{H - \langle h \rangle} + \frac{\Delta H + \langle \Delta h \rangle}{H + \langle h \rangle} + \frac{\Delta D}{D}, \quad (13)$$

$$\Delta M_{mp.} = M_{mp.} \cdot \delta M_{mp.}; \quad (14)$$

$$\delta I_{эксн} = \frac{\Delta m}{m} + 2 \frac{\Delta D}{D} + 2 \frac{\langle \Delta t \rangle}{\langle t \rangle} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta H + \langle \Delta h \rangle}{H + \langle h \rangle}, \quad (15)$$

$$\Delta I_{эксн} = I_{эксн} \cdot \delta I_{эксн} \quad (16)$$

Таблица 1

	m	ρ	D	R	d	H
[]	кг	кг/м ³	м	м	м	м
$\langle A \rangle$						
δA						
ΔA						

Таблица 2

	1	2	3	4	5	$\langle cp \rangle$
$h, м$						
$\Delta h, м$						
$t, с$						
$\Delta t, с$						X
$\Delta t^2, с^2$						

Таблица 3

	$\langle M_{\text{пр.}} \rangle$	$I_{\text{эсп}}$	$I_{\text{теор.}}$	$\delta I_{\text{теор}}$
[]	$H \cdot m$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	%
$\langle A \rangle$				
δA				
ΔA				

Таблица 4

$S_{n,\alpha}$	α	$t(n, \alpha)$	$\Delta t_{\text{СЛ}}$	$\Delta t_{\text{ПР}}$	$\Delta t_{\text{ДОВ}}$	δt
с	–	–	с	с	с	%

ЗАДАНИЕ 2. Теоретический расчёт момента инерции махового колеса.

1. Маховое колесо представляет собой диск, поэтому момент инерции его $I_{\text{теор.}}$ равен:

$$I_{\text{теор.}} = \frac{1}{2} M \cdot R^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot V \cdot R^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot d \cdot R^4,$$

где R - радиус диска, ρ - плотность материала диска, d - толщина диска.

Моменты инерции шкива и вала не учитываем.

Рассчитать относительную погрешность по формуле

$$\delta I_{\text{теор.}} = \frac{|I_{\text{теор.}} - I_{\text{эсп.}}|}{I_{\text{теор.}}}.$$

Результат занести в таблицу 3.

2. Сравнить теоретическое и экспериментальные значения момента инерции и объяснить результат. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Момент инерции материальной точки.
2. Момент инерции твёрдого тела. От чего он зависит?
3. Физический смысл момента инерции.
4. Основной закон динамики вращательного движения.
5. Теорема Штейнера.
6. Момент сил относительно точки.
7. Чем обусловлен момент сил трения в данной работе?
8. Работа при вращательном движении.
9. Кинетическая энергия при вращательном движении.
10. Вывести формулу для определения среднего момента сил трения.
11. Вывести формулу для определения момента инерции махового колеса.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимов. – М.: Высш. шк., 2015.
3. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: учеб.-метод. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008.