

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 11.02.2021 20:23:14
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)

Кафедра общей и прикладной физики



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВРАЩЕНИЯ МАХОВОГО КОЛЕСА

Методические указания к выполнению лабораторной работы №5 по разделу «Механика и молекулярная физика» для студентов инженерно-технических специальностей

Курск 2015

УДК 534.2

Составители: Т.И. Аксенова, Г.В. Карпова

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент *Л.И. Рослякова*

Определение основных параметров вращательного движения на примере вращения махового колеса: Методические указания к выполнению лабораторной работы №5 по разделу физики «Механика и молекулярная физика» /Юго-зап. гос. ун-т; сост.: Т.И. Аксенова, Г.В. Карпова.- Курск, 2015.- 12с.: ил.4, табл. 1, Библиогр.: 3 назв.

Содержит методические рекомендации по выполнению лабораторной работы. Экспериментально исследуются закономерности вращательного движения махового колеса, определяются основные параметры вращательного движения.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы и рабочему учебному плану, утвержденным ректором ЮЗГУ.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Лабораторная работа №5
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
 ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВРАЩЕНИЯ
 МАХОВОГО КОЛЕСА.**

Цель работы: опытным путем изучить закономерности вращательного движения махового колеса.

Приборы и принадлежности: маховое колесо с грузом, секундомер, сантиметровая лента, штангенциркуль.

Краткая теория.

Момент силы относительно точки.

Моментом силы \vec{F} относительно некоторой точки «О» называется векторная величина \vec{M} , определяемая векторным произведением:

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] \quad (1)$$

где \vec{r} - радиус-вектор, проведенный из точки «О» в точку приложения силы.

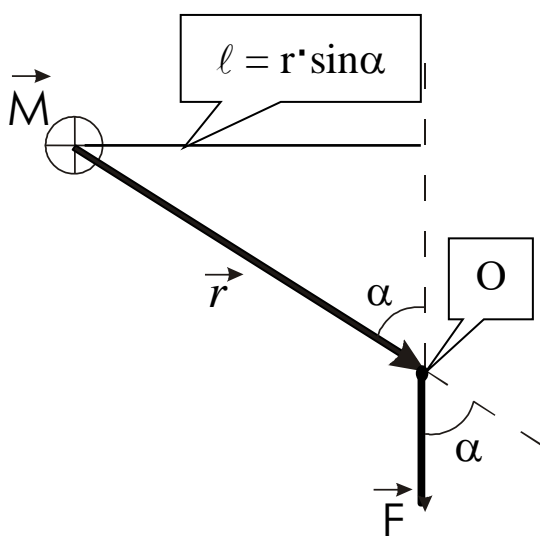


Рис.1.

На рис. 1 вектор момента силы согласно правилу векторного произведения будет направлен от нас за лист. Модуль момента силы определяется выражением:

$$|\vec{M}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

где произведение $|\vec{r}| \cdot \sin \alpha = l$ определяет длину перпендикуляра, опущенного из центра вращения «М» на линию действия силы, и называется плечом силы относительно точки приложения силы «О», « α » – угол между

направлением векторов « F » и « r »

Момент инерции материальной точки – скалярная величина, определяемая произведением массы этой точки на квадрат расстояния от этой точки до оси вращения:

$$J = mr^2 \quad (2)$$

Момент инерции твердого тела равен сумме моментов инерции отдельных материальных точек: $J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ (3)

Для тела произвольной формы, представленного в виде совокупности бесконечно малых объемов dV , масса которых равна dm , момент инерции вычисляется как интеграл по объему:

$$J = \int_V r^2 dm = \int_V r^2 \rho dV \quad (4)$$

где ρ - плотность элементарного объема.

Момент инерции тела характеризует инертность тела по отношению к изменению им угловой скорости. Он является аналогом массы как меры инертности тела при прямолинейном движении.

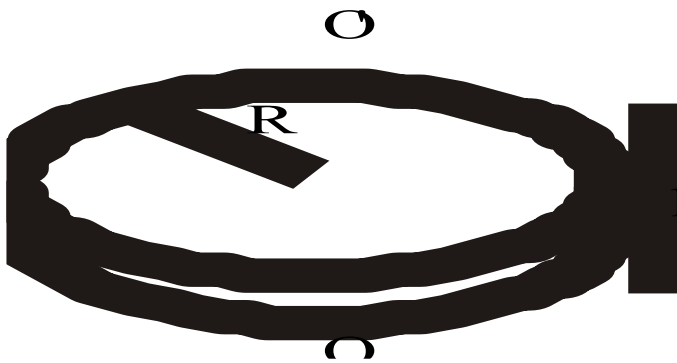


Рис. 2.

Расчет момента инерции различных тел является задачей на интегрирование, в ряде случаев достаточно сложной.

В частности, момент инерции сплошного однородного диска (Рис.2) относительно оси, проходящей через центр диска перпендикулярно

плоскости его оснований, равен: $J = \frac{1}{2} mR^2$ (5)

где m – масса диска, R – его радиус.

Если представить массу диска как $m = \rho V$, где ρ - плотность вещества диска, V – его объем и учесть, что $V = \pi \cdot R^2 h$, где h – толщина диска, получим:

$$J = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 h \cdot R^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^4 h, \quad (6)$$

так как $R = \frac{D}{2}$, где D – диаметр диска, имеем:

$$J = \frac{1}{32} \rho \cdot \pi \cdot D^4 h \quad (7)$$

Угловая скорость и угловое ускорение.

Угловая скорость характеризует интенсивность вращения материальной точки и твердого тела и вычисляется как первая производная угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (8)$$

Угловое ускорение, определяющее быстроту изменения угловой скорости, есть:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad (9)$$

Принято приписывать величинам ω и ε определенные направления (считать их псевдовекторами). Вектор угловой скорости перпендикулярен плоскости, в которой происходит вращение точки, а направление его определяется правилом правого винта (буравчика).

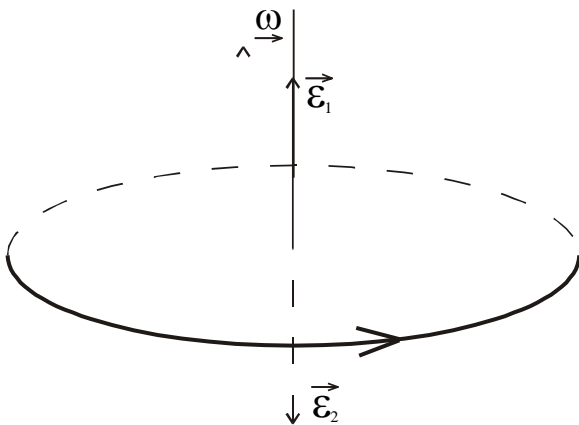


Рис. 3.

Угловое ускорение может быть направлено либо в ту же сторону, что и угловая скорость (при ускоренном вращении ($\vec{\varepsilon}_1$)), либо в противоположную вектору $\vec{\varepsilon}_1$ сторону ($\vec{\varepsilon}_2$) – при замедленном вращении.

Рассмотренные величины связаны соотношением:

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = J \vec{\varepsilon} \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i$ – сумма моментов

внешних сил, действующих на тело. Так как угловое ускорение можно записать как первую производную, $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$, то уравнение (10) можно преобразовать как:

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = J \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt} \quad (12)$$

Это соотношение называется основным уравнением динамики вращательного движения твердого тела.

Векторная величина $\vec{L} = J\vec{\omega}$ - момент импульса твердого тела.

Описание установки.

Установка, с помощью которой проводится исследование, состоит из массивного махового колеса, радиус которого « $R_{\text{кол}}$ » и насаженного на вал радиусом « $r_{\text{вал}}$ » и отсчетной вертикальной шкалы с делениями, укрепленной на стене. Вал установлен на шарикоподшипниках. Шкив радиуса $R_{\text{шк}}$, на который наматывается нить с грузом массой « m », насажен на вал. Под действием груза нить разматывается и приводит маховое колесо в равноускоренное вращательное движение. Положение груза « m » отмечается по шкале с делениями.

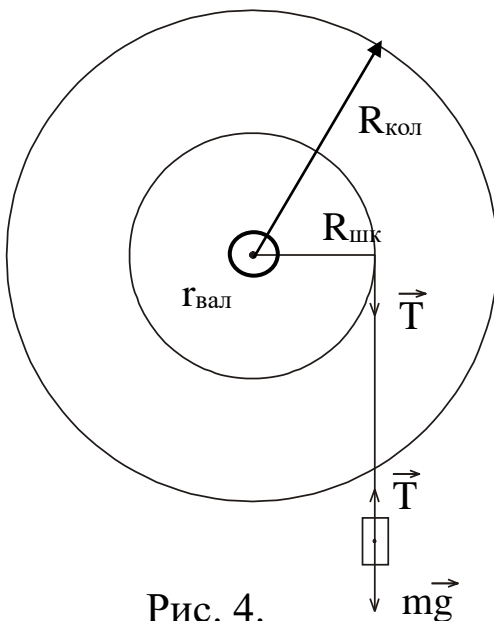


Рис. 4.

Методика определения параметров вращательного движения.

Для определения параметров вращательного движения махового колеса грузу сообщают запас потенциальной энергии ($m \cdot g \cdot h_1$), поднимая его за счет вращения колеса на высоту (h_1). Освободив колесо, измеряют время (t) опускания груза до нижней точки. Выключив секундомер, отмечают высоту (h_2), на которую поднимается груз (по инерции) от нижней точки. Экспериментальные расчетные формулы получают исходя из того, что запас потенциальной энергии груза, переходит в кинетическую

энергию его поступательного движения, в кинетическую энергию вращательного движения махового колеса и работу по преодолению силы трения в подшипниках.

$$mgh_1 = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} + A_{1mp} \quad (12)$$

Воспользуемся соотношениями угловых и линейных характеристик в форме выражений (10).

$$v = a \cdot t; \quad h_1 = \frac{at^2}{2}; \quad v = \frac{2h_1}{t}; \quad \omega = \frac{v}{R}, \quad \omega = \frac{2h_1}{Rt} \quad (13)$$

Подставляя соотношения (13) в формулу (12) получим выражение для расчета момента инерции махового колеса.

$$J = m \cdot R_{шк}^2 \left(g \cdot t^2 \cdot \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right) \quad (14)$$

где m – масса груза, $R_{шк}$ – радиус шкива, t – время опускания груза.

Когда груз дойдет до нижней точки, маховое колесо, вращаясь по инерции, начинает наматывать нить на шкив, в результате чего груз снова начинает подниматься. Но так как существуют силы трения в опорах, то он поднимается на высоту $h_2 < h_1$. При этом кинетическая энергия вращательного движения колеса и поступательного движения груза перейдет в потенциальную энергию и работу против сил трения в опорах вала, то есть

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = m \cdot g \cdot h_2 + A_2$$

где A_2 – работа против сил трения, совершаемая при движении груза вверх или

(15)

Убыль потенциальной энергии груза равна работе по преодолению силы трения в подшипниках.

$$m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 = A_{1mp} + A_{2mp} = F_{mp} (l_1 + l_2) \quad (16)$$

l_1, l_2 – пути, проходимые трущимися участками вала при движении груза вниз и вверх соответственно.

$$l_1 = 2\pi r n_1; \quad l_2 = 2\pi r n_2; \quad (17)$$

где n_1, n_2 – число оборотов, которое вал сделал при движении груза вниз и вверх соответственно, r – радиус вала.

При этом шкив тоже сделал (n_1) и (n_2) оборотов за те же промежутки времени. Длину смотанной и намотанной нити (нить можно считать упругой и нерастяжимой), равную соответственно высоте опускания h_1 и поднятия h_2 груза, можно определить по формуле:

$$h_1 = 2\pi \cdot R_{шк} \cdot n_1; \quad h_2 = 2\pi \cdot R_{шк} \cdot n_2 \quad (18)$$

Из соотношения (18) следует, что $n_1 = \frac{h_1}{2\pi \cdot R_{шк}}$; $n_2 = \frac{h_2}{2\pi \cdot R_{шк}}$; (19)

Подставляя выражения (19) в (17) получаем:

$$l_1 = h_1 \frac{r}{R_{шк}}; \quad l_2 = h_2 \frac{r}{R_{шк}} \quad (20)$$

Подставляя соотношения (20) в формулу (16), получаем выражение для силы трения в подшипниках.

$$F_{тр} = m \cdot g \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 + h_2)} \cdot \frac{R_{шк}}{r} \quad (21)$$

Вращательный момент создаётся силой натяжения нити

$T = m \cdot (g - a)$, плечом этой силы является радиус шкива $R_{шк}$:

$$M_T = m(g - a)R_{шк} \quad (22)$$

Противодействующий – тормозящий момент создаёт сила трения $F_{тр}$, а плечом этой силы является, r – радиус вала, где проявляют действие силы трения качения. Поэтому можно записать выражение: $M_{тр} = F_{тр}r$ или

$$M_{тр} = m \cdot g \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 + h_2)} \cdot R_{шк} \quad (23)$$

Измерения сводятся к нахождению (R), (r), (t), (h_1), (h_2). Измерения всех величин необходимо проводить 3-5 раз. Высоту (h_1) целесообразно оставлять неизменной.

Задания.

1. Измерить в трех-четырех местах диаметр шкива $D_{шк} = 2R_{шк}$ и диаметр вала $d_v = 2r$, r – радиус вала, где проявляют действие силы трения качения.

2. Вращая рукой маховое колесо, намотать на шкив нить (трос), удерживающую груз, так, чтобы груз поднялся на некоторую высоту (h_1) (порядка 70-100 см.).

3. Добившись успокоения груза, отпустить маховое колесо и одновременно включить секундомер. Измерить время опускания груза (t).

4. Не останавливая вращения колеса, дождаться, когда груз, поднимаясь, остановится. Удерживая колесо, определить высоту подъема груза (h_2).

5. Повторить выполнение пунктов 2, 3 и 4 ещё два раза, поднимая при этом груз на ту же самую высоту, что и в первый раз. Рассчитать средние значения величин $\langle t \rangle$ и $\langle h_2 \rangle$. Результаты измерений занести в таблицу.

6. Взвесить на товарных весах массу груза « m ». Результаты проведённых измерений занести в таблицу.

№ п/п	m , кг	h_2 , м	t , с	$R_{шк}$, $10^{-3}м$	r , $10^{-3}м$	T , Н	$F_{тр}$, Н
1							
2							
3							
$\langle \text{ср} \rangle$							

7. Рассчитать экспериментальное значение момента инерции махового колеса по формуле (14):

$$J_{э} = m \cdot R_{шк}^2 \left[\frac{g \cdot t^2 h_2}{h_1 (h_1 + h_2)} - 1 \right]$$

При этом подставлять средние значения величин h_2 и t .

8. Произвести расчет теоретического значения момента инерции махового колеса $J_{\text{кол}}$. Для этого, необходимо измерить диаметр махового колеса $D_{\text{кол}}$, его толщину $h_{\text{кол}}$, и зная плотность вещества, из которого сделано маховое колесо – сталь ($\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), подставить эти значения в формулу (7).

9. Сравнить полученные значения моментов инерции махового колеса, то есть найти относительную погрешность полученных результатов лабораторной работы по формуле (24).

$$\varepsilon = \frac{|J_m - J_{\text{э}}|}{J_m} \cdot 100\% \quad (24)$$

Сделать вывод.

10. Определить силу трения в опорах по формуле (21):

$$F_{\text{ТР}} = m \cdot g \frac{(h_1 - \langle h_2 \rangle) \cdot R_{\text{шк}}}{(h_1 + \langle h_2 \rangle) r}$$

При этом подставляются средние значения $\langle h_2 \rangle$, $\langle R_{\text{шк}} \rangle$, $\langle r \rangle$.

11. Рассчитать момент силы натяжения нити по формуле :

$$M_T = R_{\text{шк}} \cdot T$$

с учетом того, что сила натяжения

$$T = m(g - a) = m\left(g - \frac{2h_1}{t^2}\right) \quad (25)$$

имеем
$$M_T = R_{\text{шк}} \cdot m \cdot \left(g - \frac{2 \cdot h_1}{t^2}\right) \quad (26)$$

12. Рассчитать момент силы сопротивления по формуле :

$$M_c = r F$$

13. Сравнить моменты силы натяжения и силы сопротивления. Сделать выводы.

14. Определить работу по преодолению сил трения по формуле $A_{\text{тр}} = m \cdot g(h_1 - h_2)$ (27)

Контрольные вопросы.

1. Каков физический смысл момента инерции?

2. От чего зависит величина момента инерции?
3. В каких единицах измеряется момент инерции?
4. Как рассчитать момент инерции однородного диска.?
5. Для чего используется закон сохранения механической энергии в этой работе?
6. Сформулируйте и напишите математическое выражение момента силы,
7. Сформулируйте и напишите математическое выражение основного уравнения динамики вращательного движения твердого тела.

Библиографический список:

1. **Трофимова Т. И.** Курс общей физики [Текст]: учеб. пособие / М.: Высш. шк., 2002. – 542с.
2. **Савельев И. В.** Курс общей физики Т.1. Механика [Текст]: учеб. пособие / И. В. Савельев; СПб.: Лань, 2007. – 320 с.