

ОТЧЁТ
по лабораторной работе № 7

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Выполнил студент группы _____

Преподаватель кафедры физики

Отметка о защите _____

Лабораторная работа №7

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Цель работы – проверить основной закон динамики вращательного движения, исследовать зависимость момента инерции от квадрата расстояния между центром масс груза и осью вращения маятника.

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, набор грузов, секундомер, штангенциркуль.

Описание экспериментальной установки

Маятник Обербека представляет собой крестовину, состоящую из четырёх стержней, укрепленных на втулке с осью (рис. 1). На стержни надеваются одинаковые грузы в виде цилиндров массой m_1 , которые могут быть закреплены на различных расстояниях от оси вращения.

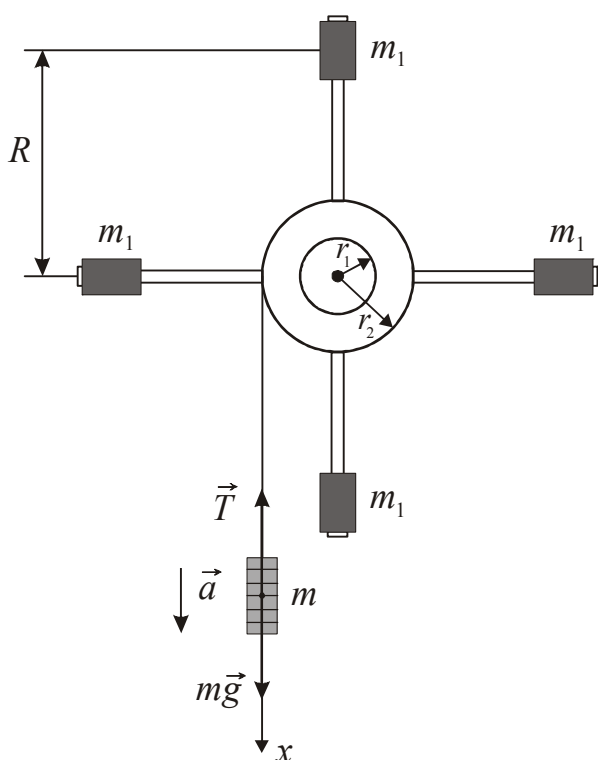


Рисунок 1

Втулка и два шкива различных радиусов (r_1 и r_2) насажены на ось вращения маятника. На один из шкивов маятника наматывается тонкая нить, к свободному концу которой прикрепляется груз массой m . Вся эта система может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси. Вращающий момент можно изменять, перематывая нить со шкива на шкив. Момент инерции системы изменяют, передвигая грузы m_1 вдоль спиц.

Общие положения

Для тела, которое вращается относительно неподвижной оси, основной закон динамики вращательного движения имеет вид:

$$J\varepsilon = M_{\text{внеш}}, \quad (1)$$

где J – момент инерции тела относительно оси вращения, ε – угловое ускорение, $M_{\text{внеш}}$ – проекция суммарного момента внешних сил на ось вращения.

Момент сил создаётся силой натяжения нити T и силой трения $F_{\text{тр}}$. Сумма проекций моментов внешних сил $M_{\text{внеш}}$ на ось вращения равна:

$$M_{\text{внеш}} = M - M_{\text{тр}},$$

где M – момент силы натяжения нити, $M_{\text{тр}}$ – момент силы трения.

С учётом этого уравнение (1) примет вид:

$$M - M_{\text{тр}} = J\varepsilon.$$

Момент силы натяжения нити

$$M = T \cdot r, \quad (2)$$

где T – сила натяжения нити; r – радиус шкива.

Силу натяжения нити T определим из второго закона Ньютона. На груз массой m действуют две силы: сила тяжести и сила натяжения нити, под действием которых он движется вниз с ускорением a (см. рис.1). В проекции на ось Ox это уравнение примет вид:

$$mg - T = ma,$$

Отсюда

$$T = m(g - a). \quad (3)$$

В условиях данного эксперимента $a \ll g$, поэтому можно записать:

$$T \approx mg.$$

Тогда

$$M \approx mgr. \quad (4)$$

Отсюда

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(M - M_{\text{тр}}). \quad (5)$$

С учётом (4) уравнение (5) имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(mgr - M_{\text{тр}}). \quad (6)$$

Если момент инерции системы J и момент силы трения $M_{\text{тр}}$ остаются постоянными, то угловое ускорение ε будет линейно зависеть от момента $M = mgr$, т.е. график зависимости $\varepsilon = f(M)$ должен представлять собой прямую. Тангенс угла наклона прямой равен $1/J$, а точка пересечения с осью Ox даст $M_{\text{тр}}$. Угловое ускорение ε можно найти, измерив высоту h и время t падения груза:

$$h = \frac{at^2}{2}.$$

Отсюда:

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

Линейное ускорение a связано с угловым ускорением ε соотношением

$$a = \varepsilon \cdot r.$$

Тогда

$$\varepsilon = \frac{2h}{r \cdot t^2}. \quad (7)$$

С помощью маятника Обербека также можно исследовать зависимость момента инерции J от R – расстояния от центра масс грузов до оси вращения. Момент инерции системы:

$$J = J_0 + 4m_1R^2, \quad (8)$$

где J_0 – момент инерции крестовины без грузов; m_1R^2 – момент инерции одного груза m_1 , центр масс которого находится на расстоянии R от оси вращения.

Формулу для вычисления момента инерции J получаем из основного уравнения динамики вращательного движения (1):

$$J = \frac{M_{\text{внеш}}}{\varepsilon}. \quad (9)$$

Если момент силы трения на оси $M_{\text{тр}}$ много меньше mgr , то этой величиной можно пренебречь. Из (2) и (3) получим:

$$M = m(g - a)r. \quad (10)$$

Подставим (10) в уравнение (9), получим:

$$J = \frac{mr(g - a)}{\varepsilon}. \quad (11)$$

Угловое ε и линейное a ускорения заменим согласно соотношениям (7), получим:

$$J = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right). \quad (12)$$

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. Какова цель работы?
2. Какая зависимость проверяется в упражнении 1? Нарисуйте схематический график этой зависимости.
3. Запишите формулы, по которым рассчитываются угловое ускорение и момент силы. Поясните смысл обозначений.
4. Какая зависимость проверяется в упражнении 2? Нарисуйте схематический график этой зависимости.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается момент инерции системы. Поясните смысл обозначений.

Выполнение работы

Задание 1

Исследование зависимости углового ускорения от момента внешних сил

Исследуемая зависимость $\varepsilon = f(M)$ получена в предположении, что $a \ll g$.

Для выполнения этого условия необходимо нить намотать на шкив меньшего диаметра, а грузы на спицах разместить на наибольшем расстоянии R от оси.

1. Установить грузы m_1 на концах спиц.
2. Измерить диаметр шкива d .

3. Подвесить на нити платформу с грузом общей массой 100 г так, чтобы её нижняя поверхность находилась на нулевой отметке линейки. Три раза измерить время падения груза t до пола. Найти среднее значение времени.
4. Повторить измерения пункта 3 для пяти значений массы m груза, добавляя на платформу по одному грузу массой 50 г.
5. Измерить высоту h падения груза.

Задание 2

Исследование зависимости момента инерции от квадрата расстояния между центром масс груза и осью вращения маятника

Исследуемая зависимость $J = f(R^2)$ получена в предположении, что $M_{\text{тр}} \ll M$. Для выполнения этого условия выбираем больший диаметр d шкива и максимальную массу падающего груза ($m=300\text{г}$).

1. Записать массу падающего груза m .
2. Измерить диаметр d шкива.
3. Закрепить грузы m_1 в начале спиц.
4. Измерить расстояние R от оси вращения до центра масс груза m_1 .
5. Подвесить груз m на нити так, чтобы его нижняя поверхность находилась на нулевом делении линейки. Три раза измерить время падения груза t до пола. Найти среднее значение времени падения.
6. Передвигая грузы m_1 вдоль спиц на $\Delta R=2$ см, провести измерения для пяти разных положений груза согласно пп.4–5.

Оформление отчёта

1. Расчёты

Задание 1

1. Вычислить момент силы M по формуле (4) для каждой массы.
2. Вычислить угловое ускорение ε по формуле (7), используя среднее значение времени падения.
3. Построить график зависимости $\varepsilon = f(M)$.
4. Используя график, определить момент силы трения $M_{\text{тр}}$.

Задание 2

1. Вычислить по результатам каждого опыта момент инерции маятника по формуле (12), используя среднее значение времени.
2. Построить график зависимости $J = f(R^2)$.
3. Используя график, определить момент инерции J_0 крестовины маятника.

2. Защита работы (ответы представить в письменном виде)

1. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения. Запишите формулу.
2. Дайте определение момента силы. Укажите единицу измерения. Как определяется направление момента силы?
3. Дайте определение момента инерции твёрдого тела. Укажите единицу измерения.
4. Сделайте вывод о том, соответствуют ли результаты эксперимента теоретическим зависимостям.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №7

Выполнил(а) _____

Группа _____

Задание 1

Высота падения груза $h=$ _____ Диаметр малого шкива $d=$ _____

№ п/п	r , мм	m , г	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$t_{\text{ср}}$, с	ε , рад/с ²	M , Н·м	Примечание
1									Нить наматывается на малый шкив
2									
3									
4									
5									

Задание 2

Высота падения груза $h=$ _____Масса падающего груза $m=$ _____ Диаметр большого шкива $d=$ _____

№ п/п	r , мм	R , см	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	$t_{\text{ср}}$, с	R^2 , см ²	J , кг·м ²	Примечание
1									Нить наматывается на большой шкив
2									
3									
4									
5									

Дата _____

Подпись преподавателя _____