

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА МАКСВЕЛЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ - ознакомление со сложным движением твердого тела и изучение закона сохранения энергии на примере движения маятника Максвелла.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка лабораторная «Маятник Максвелла ФМ 12», кольца, штангенциркуль.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Общий вид установки, используемой в настоящей работе, представлен на рис. 1. Маятник Максвелла представляет собой металлический диск 1, в середине которого укреплен металлический стержень 2. К концам этого стержня прикреплены две крепкие (капроновые) нити 3. Они наматываются на стержень (от концов его к диску). Диск маятника представляет собой непосредственно сам диск и сменные кольца, которые закрепляются на диске. При освобождении маятника он начинает движение: поступательное вниз и вращательное вокруг своей оси симметрии.

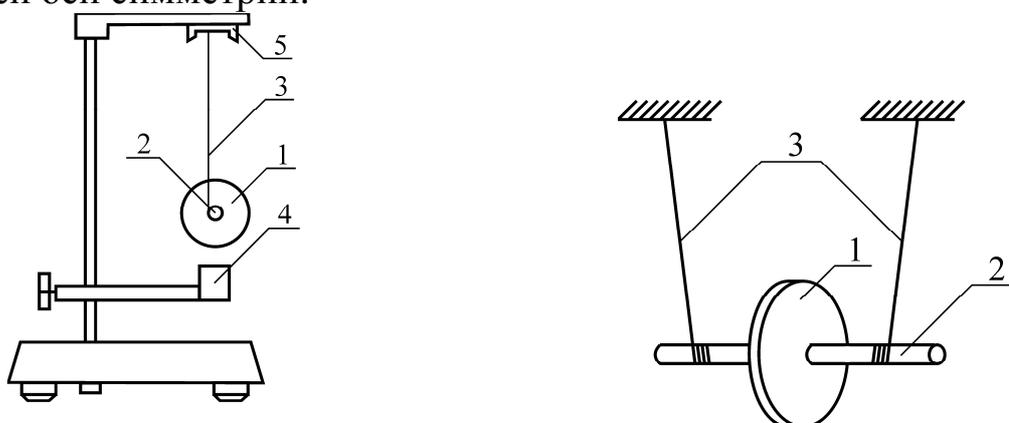


Рис. 1. Маятник Максвелла

Вращение, продолжаясь по инерции в низшей точке движения (когда нити уже размотаны), приводит вновь к наматыванию нитей на стержень, а, следовательно, и к подъему маятника. Движение маятника после этого замедляется, маятник останавливается и снова начинает свое движение вниз и т.д. Ход маятника (расстояние, проходимое маятником) может быть измерено по вертикальной рейке с делениями, укрепленной на стойке.

Уравнения движения маятника без учета сил трения имеют вид:

$$\begin{cases} ma = mg - 2T, & (1) \\ J\varepsilon = 2Tr_0, & (2) \\ a_3 = \varepsilon \cdot r_0, & (3) \end{cases}$$

где m - масса маятника, J - момент инерции маятника, g - ускорение свободного падения, r_0 - радиус оси, T - сила натяжения нити, a_3 - ускорение поступательного движения центра масс маятника, ε - угловое ускорение маятника. Ускорение a_3 может быть получено по измеренному времени движения t и пройденному маятником расстоянию h из уравнения:

$$a_3 = 2h/t^2. \quad (4)$$

Масса маятника m является суммой масс его частей:

$$m_i = m_0 + m_d + m_k, \quad (5)$$

где $m_0=0.019$ кг - масса оси, m_d - масса диска и m_k - масса кольца.

Момент инерции маятника J также является аддитивной величиной и определяется по формуле

$$J_i = J_0 + J_d + J_k, \quad (6)$$

где J_0 , J_d , J_k - соответственно моменты инерции оси, диска и кольца маятника. Момент инерции оси маятника J_0 равен

$$J_0 = m_0 r_0^2 / 2. \quad (7)$$

Момент инерции диска маятника J_d может быть найден как

$$J_d = m_d R_d^2 / 2, \quad (8)$$

где R_d - радиус диска, $m_d=0.1$ кг - масса диска.

Момент инерции кольца J_k находится по формуле

$$J_k = \frac{m_k}{2} (R_1^2 + R_2^2). \quad (9)$$

где R_1 - внутренний радиус кольца, R_2 - внешний радиус кольца.

Из уравнений (1)-(3) легко можно получить выражение для расчета теоретического значения ускорения движения центра тяжести маятника:

$$a_m = g / [1 + J_i / (m_i r_0^2)], \quad (10)$$

где J_i - момент инерции маятника, определяемый из формулы (6), m_i - масса маятника, определяемая из формулы (5)

Зная линейное и угловое ускорения, легко найти скорость движения оси маятника и угловую скорость его вращения:

$$v = a_3 t; \quad \varepsilon = a_3 / r_0, \quad \omega = \varepsilon t. \quad (11)$$

Полная кинетическая энергия маятника складывается из энергии поступательного перемещения центра масс (совпадающего с центром оси) и из энергии вращения маятника вокруг оси:

$$E_k = \frac{m_i v^2}{2} + \frac{J_i \omega^2}{2} \quad (12)$$

Потенциальная энергия маятника определяется выражением

$$E_p = m_i g h \quad (13)$$

Работа сил трения вычисляется как разность потенциальной и кинетической энергий маятника

$$A_{mp} = E_p - E_k \quad (14)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1. Определение момента инерции маятника.

1. Определить массу кольца m_k с помощью рычажных весов.
2. С помощью штангенциркуля измерить радиус оси r_0 , радиус диска R_d , внутренний радиус кольца R_1 , внешний радиус кольца R_2 .
3. Вычислить моменты инерции оси, диска и кольца маятника J_0 , J_d , J_k по формулам (7), (8) и (9) соответственно. Рассчитать массу маятника m_i по формуле (5), и его момент инерции J_i по формуле (6).
4. Произвести вычисления и заполнить таблицу 1.
5. Аналогичные измерения и расчеты для маятника с другим съемным кольцом.

Таблица 1

№	m_0 , кг	m_d , кг	m_k , кг	m_i , кг	r_0 , м	R_d , м	R_1 , м	R_2 , м	J_0 , кг·м ²	J_d , кг·м ²	J_k , кг·м ²	J_i , кг·м ²
1												
2												
3												

ЗАДАНИЕ 2. Определение теоретического и экспериментального значений ускорения маятника, проверка закона сохранения энергии.

1. Собрать установку «Маятник Максвелла» (см. рис. 1). Установить нижний кронштейн с фотодатчиком 4 в крайнее нижнее положение шкалы так, чтобы верхняя плоскость кронштейна совпала с одной из рисок шкалы.

2. Произвести регулировку положения основания установки при помощи регулировочных опор так, чтобы диск на бифилярном подвесе находился в центре окна фотодатчика.

3. Установить необходимую длину бифилярного подвеса таким образом, чтобы нижний край диска маятника находился на 45 мм ниже оптической оси фотодатчика; при этом ось маятника должна занять горизонтальное положение.

4. Нажать кнопку «СЕТЬ». При этом должно включиться табло индикации. Аккуратно вращая маятник, зафиксировать его в верхнем положении при помощи электромагнита, при этом необходимо следить за тем, чтобы нить наматывалась на ось виток к витку. В зафиксированном положении нити подвеса должны быть ослаблены.

5. Нажать на кнопку «СБРОС» для того, чтобы убедиться, что на индикаторах устанавливаются нули.

6. Нажать на кнопку «ПУСК» блока. Происходит растормаживание электромагнита, маятник начинает опускаться, и таймер блока начинает отсчет времени. При пересечении маятником оптической оси фотодатчика отсчет времени прекратится. Записать показания таймера, т.е. время движения груза t .

7. По шкале стойки определить ход маятника h , как расстояние проходимое осью маятника от крайнего верхнего положения до крайнего нижнего.

8. Записав значения h и t , нажать клавишу «СБРОС». Для повышения точности измерений повторить опыт 3-4 раза.

9. Определить экспериментальное значение ускорения $a_э$ по формуле (4). Найти угловое ускорение маятника, линейную и угловую скорости в момент прохождения маятником оси фотодатчика по формулам (11).

10. Определить относительную погрешность, сравнивая теоретическое и экспериментальное значение ускорения по формуле:

$$\eta = ((a_э - a_m) / a_m) \cdot 100\% .$$

11. По формуле (12) найти кинетическую энергию маятника Максвелла, сравнить ее с начальной потенциальной энергией найденной по формуле (13). По разности этих энергий (14) найти работу сил трения $A_{тр}$.

12. Произвести вычисления и заполнить таблицу 2.

Таблица 2

№	J_i , кг·м ²	h , м	t , с	t_{cp} , с	$a_э$, м/с ²	a_m , м/с ²	$\epsilon_э$, рад/с ²	ν , м/с	ω , рад/с	E_k , Дж	E_p , Дж	$A_{тр}$, Дж
1												
2												
3												

13. Сделать выводы по проделанной лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называется вращательным? Перечислите физические величины, характеризующие вращательное движение.

2. Что называется моментом инерции тела относительно оси?

3. Сколько моментов инерции может иметь данное тело?
4. Дать определение момента сил. Записать в векторной форме. Как направлен момент сил относительно силы? Что такое радиус-вектор действия силы? Нарисовать и показать на рисунке.
5. Какое направление имеют угловое ускорение, угловая скорость?
6. Дать определение момента инерции материальной точки и абсолютно твердого тела. Физический смысл момента инерции.
7. Дать определение центра масс системы тел.
8. Сформулировать законы динамики для вращательного движения и вывести их для материальной точки и для абсолютно твердого тела.
9. Вывести формулу для кинетической энергии вращающегося тела.
10. Как рассчитывается момент инерции стержня?
11. Как рассчитывается момент инерции диска?
12. Расскажите, как выполняли работу.
13. Объясните, как рассчитывали погрешность измерений в работе.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров Н.В., Яшкин А.Я.* Курс физики. Механика: Учеб. пособие для физ.-мат. фак-в пед. ин-в. – М.: Просвещение, 1978. – 456 с.
2. *Руководство к лабораторным занятиям по физике* / Под ред. Л.Л. Гольдина, – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1973. – 688 с.
3. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. – В 2-х т. - М.: Наука, 1970. – Т.1. – 432 с.