

Лабораторная работа №14

МАЯТНИК МАКСВЕЛЛА

Цель работы - изучение законов динамики поступательного и вращательного движения на примере маятника Максвелла.

Приборы и принадлежности: маятник Максвелла FPM-03; комплект сменных колец: кольцо 0301ЧЮ60-01 массой 0,25 кг, кольцо 0301-0080-02 массой 0,35 кг, кольцо 0301-0080-03 массой 0,46 кг.

Краткие сведения из теории

Действие прибора основано на одном из основных законов механики - законе сохранения механической энергии: полная механическая энергия системы, на которую действуют только консервативные силы, постоянна. Маятник Максвелла представляет собой твердое тело, насаженное на ось. Ось подвешена на двух накручивающихся на нее нитях (рис. 1). Под действием силы тяжести маятник совершает колебания в вертикальном направлении и вместе с тем крутильные колебания вокруг своей оси. Пренебрегая силами трения, систему можно считать консервативной. Закрутив нити, мы поднимаем маятник на высоту h , сообщив ему запас потенциальной энергии. При освобождении маятника он начинает движение под действием силы тяжести: поступательное вниз и вращательное вокруг своей оси. При этом потенциальная энергия переходит в кинетическую. Опустившись в крайнее нижнее положение, маятник будет по инерции вращаться в том же направлении, нити наматываются на ось и маятник поднимется. Так происходят колебания маятника.

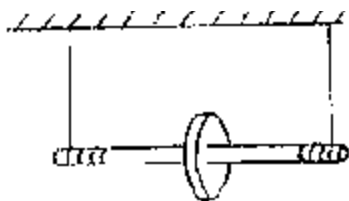


Рис. 1.

Напишем уравнения движения маятника. При поступательном движении маятника по второму закону Ньютона с учетом действующих на маятник сил можно написать

$$m\vec{a} = m\vec{g} + 2\vec{T},$$

где m - масса маятника, g - ускорение силы тяжести, a - ускорение поступательного движения центра масс маятника, T - сила натяжения одной нити,

Проектируя это уравнение, получим

$$ma = mg - 2T. \quad (1)$$

Для вращательного движения маятника запишем основной закон динамики вращательного движения для абсолютно твердого тела:

$$J \cdot \varepsilon = M,$$
 где J - момент инерции маятника относительно его оси

вращения, ε - угловое ускорение маятника, M - результирующий момент внешних сил относительно оси вращения.

Поскольку момент силы тяжести относительно оси вращения равен нулю,

$$J \cdot \varepsilon = 2T \cdot r, \quad (2)$$

где r - радиус оси. Так как $a = \varepsilon \cdot r$ и из (1) $2T = m(g - a)$, можем написать:

$$J = \frac{m(g - a)r^2}{a},$$

а после преобразований

$$J = m\left(\frac{g}{a} - 1\right)r^2.$$

Ускорение a может быть получено по измеренному времени движения и пройденному маятником расстоянию h из уравнения равноускоренного движения без начальной скорости:

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

Тогда

$$J = m\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right)r^2 \quad \text{и,}$$

если подставить диаметр оси D , получим основную расчетную формулу

$$J = \frac{mD^2}{4} \left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right). \quad (3)$$

Описание экспериментальной установки

Общий вид прибора показан на рис. 2. Основание 1 снабжено регулируемыми ножками 2, позволяющими произвести выравнивание прибора. В основании закреплена колонка 3, к которой прикреплен неподвижный верхний кронштейн 4 и подвижный нижний кронштейн 5. На верхнем кронштейне находится электромагнит 6, фотоэлектрический датчик №17 и вороток 8 для закрепления и регулирования длины бифилярной подвески маятника.

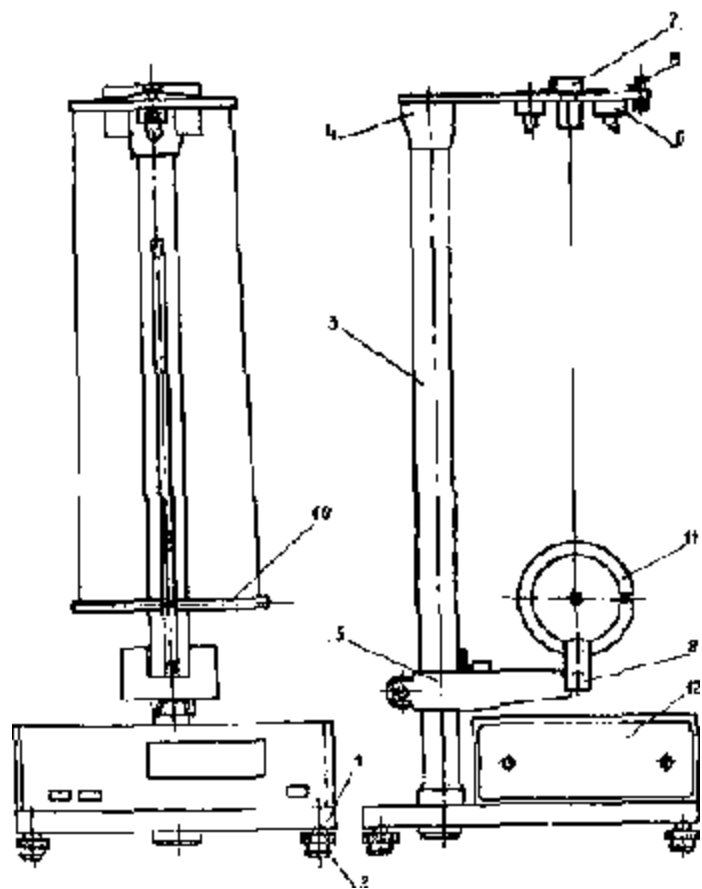


Рис. 2

Нижний кронштейн вместе с прикрепленный в нему фотоэлектрическим датчиком № 29 можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в произвольно избранной положении.

Тело маятника 10 - его ролик, закрепленный на оси, на который накладываются сменные кольца, изменяющие момент инерции маятника.

Маятник удерживается в верхнем положении электромагнитом. Его длина определяется по миллиметровой шкале на колонке прибора с погрешностью не более двух миллиметров. Для более точного намерения Длины на нижнем кронштейне имеется красный указатель, помещенный на высоте оптической оси нижнего фотоэлектрического датчика. Для намерения времени падения с относительной погрешностью не более 0,02% служит электронная схема, состоящая из миллисекундомера ФРМ-15, двух фотоэлектрических датчиков FK-1 и электромагнита. При прохождении маятника мимо фотоэлектрического датчика последний дает в схему миллисекундомера электрический сигнал, фиксирующий момент прохождения маятника. Фотоэлектрический датчик №1 соединен с гнездом ZL1 миллисекундомера 12, а фотоэлектрический датчик № 2 - с гнездом ZL2. Лицевая и задняя панели миллисекундомера изображены на рис. 5.3.

На лицевой панели миллисекундомера находятся следующие манипуляционные элементы:

W1 (сеть) - выключатель сети - нажатие клавиши включает напряжение питания, при этом загораются цифровые индикаторы (цифра ноль) и лампочки фотоэлектрических датчиков;

W2 (сброс) - установка нуля - нажатия клавиши вызывает сброс схем миллисекундомера;

W3 (пуск) - управление электромагнитом - нажатие клавиши означает освобождение электромагнита и генерирование в схеме миллисекундомера импульса разрешения на измерение.

На задней панели миллисекундомера находятся:

ZL1 - семиконтактное гнездо для подключения фотоэлектрического датчика №1 и электромагнита;

ZL2 - пятиконтактное гнездо для подключения фотоэлектрического датчика № 2;

ZL3 - заземляющий зажим.

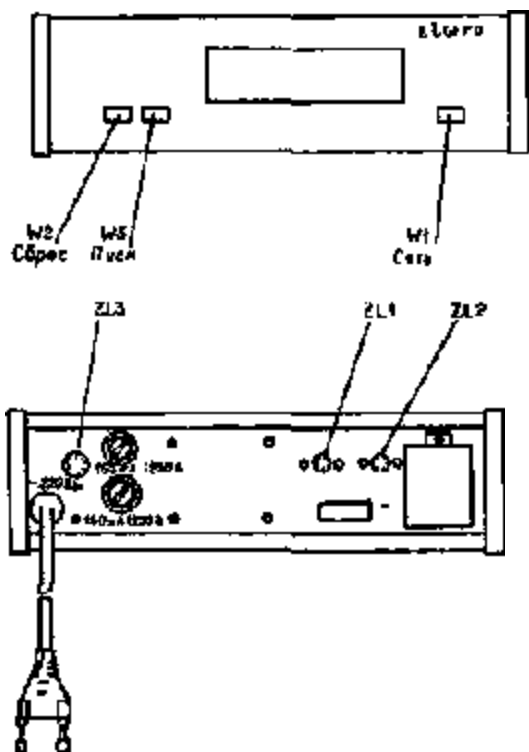


Рис. 3

Конкретные задачи

1. Определить момент инерции маятника (для трех разных сменных колец).
2. Сравнить полученный результат с теоретическим значением.

Порядок выполнения работы

I. Подготовка прибора к измерениям.

1. Привести прибор к горизонтальному положению при помощи регулируемых ножек основания.
2. Включить сетевой кабель в сеть.
3. Нажать клавишу W1(сеть). Проверить высвечивание нуль-индикаторов и сигнальных: лампочек фотоэлектрических датчиков.

II. Последовательность измерений при помощи маятника Максвелла.

1. Зафиксировать нижний кронштейн в крайней нижней положении.
2. Наложить кольцо на ролик, прижимая его до упора.
3. Намотать на ось нить подвески и фиксировать ее.
4. Проверить, совпадает ли нижняя грань кольца с нулем шкалы на колонке. Если нет, отвинтить верхний кронштейн и отрегулировать его высоту. Привинтить верхний кронштейн.
5. Нажать клавишу "пуск" миллисекундомера.
6. Деблокировать гайку воротка для регулирования длины подвески. Установить длину нити так, чтобы край стального кольца после опускания маятника находился примерно на 2 мм ниже оптической оси нижнего фотоэлектрического датчика. Одновременно произвести корректировку установки маятника так, чтобы его ось была параллельной основанию прибора. Блокировать вороток.
7. Отжать клавишу "пуск" миллисекундомера.
8. Намотать на ось маятника нить подвески, обращая внимание на то, чтобы она наматывалась равномерно, один виток за другим.
9. Фиксировать маятник при помощи электромагнита, обращая внимание на то, чтобы нить в этом положении не была слишком скручена.
10. Повернуть маятник в направлении его движения на угол около 5° .
11. Нажать клавишу "Сброс".
12. Нажать клавишу "пуск".
13. Измерить время падения маятника в секундах по миллисекундомеру.
14. Произвести определение времени пять раз.
15. Определить длину маятника в метрах по шкале на вертикальной колонке прибора.
16. Внести полученные данные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ кольца	t, с					t _{ср} , с	h, м
	№ опыта						
	1	2	3	4	5		
1							
2							
3							

Обработка и анализ результатов измерений

1. Определить для каждого кольца значение среднего времени падения маятника.

2. Определить диаметр оси вместе с намотанной на ней нитью по формуле $D = D_0 + 2D_n$, где D_n - диаметр нити, $D_n = 0,5$ мм; D_0 - диаметр внешней оси маятника, $D_0 = 10$ мм.

3. Определить массу маятника вместе с наложенным кольцом, по формуле $m = m_0 + m_p + m_k$, где m_0 - масса оси, m_p - масса ролика, m_k - масса кольца.

Значения масс отдельных элементов нанесены на экспериментальной установке.

4. Определить момент инерции маятника по формуле (3).

5. Определить теоретическое значение момента инерции по формуле $J_T = J_0 + J_k + J_p$, где J_0 - момент инерции оси:

$$J_0 = \frac{1}{8} m_0 D_0^2;$$

J_k - момент инерции кольца:

$$J_k = \frac{1}{8} m_k (D_k^2 + D_p^2),$$

здесь D_k - внешний диаметр кольца; $D_k = 105$ мм; D_p - внешний диаметр ролика, $D_p = 86$ мм; J_p - момент инерции ролика:

$$J_p = \frac{1}{8} m_p (D_p^2 + D_0^2).$$

6. Подсчитать относительную погрешность определения момента инерции по формуле

$$\varepsilon = \frac{|J - J_T|}{J_T} \cdot 100\%.$$

Относительная погрешность не должна превышать 8%.

Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон сохранения механической энергии и условия его выполнения.
2. Написать основной закон динамики вращательного движения.
3. Дать определение момента инерции твердого тела.
4. Какова аналогия между основными характеристиками поступательного и вращательного движения?
5. Описать устройство и действие маятника Максвелла.

Библиогр.: /1/ §§ 1.5, 3.3, 4.1, 8.5; /3/ §§ 24.38, 39.