

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Специализированный учебно-научный центр
Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Основы физики»

Лабораторный практикум по физике
Электронное издание
10 класс

МЕХАНИКА

Лабораторная работа М–10

Изучение закона сохранения энергии
с помощью маятника Максвелла

Москва, 2014

Лабораторный практикум по физике. Механика. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители лабораторных работ:

И. Н. Грачева, В. И. Гребенкин, А. Е. Иванов,
И. А. Коротова, Е. И. Красавина, А. В. Кравцов,
Н. С. Кулеба, Б. В. Падалкин, Г. Ю. Шевцова,
Т. С. Цветинская.

Под редакцией И. Н. Грачевой, А. Е. Иванова, А. В. Кравцова.

Об ошибках и неточностях просьба сообщать на электронную почту
metod1580@gmail.com

- © Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2014
- © Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014

10.1 Цель работы

Ознакомление со сложным движением твердого тела и изучение закона сохранения энергии на примере движения маятника Максвелла.

10.2 Основные теоретические сведения

Маятник Максвелла представляет собой металлический ролик — диск, насаженный на стержень, укрепленный на бифилярном подвесе. Для изменения условий опыта даны сменные кольца, которые надеваются на диск. Если нити подвеса симметричным образом от концов стержня к диску намотать на стержень и освободить, то ролик начинает совершать сложное колебательное движение: поступательное вверх и вниз и вращательное вокруг оси симметрии. Считая, что нить не проскальзывает по стержню, можно ожидать, что изменение потенциальной энергии ролика при намотке нитей будет равно полной кинетической энергии маятника в нижней точке его траектории. Эта энергия состоит из двух составляющих: кинетической энергии поступательного движения центра масс маятника и кинетической энергии вращения его вокруг оси, проходящей через центр масс.

$$W_k = \frac{mv^2 + I\omega^2}{2}$$

Начальная потенциальная энергия маятника

$$W_{\pi} = mgh.$$

Масса ролика складывается из массы стержня 0,019 кг и массы диска 0,1 кг. Массы колец определяются взвешиванием. Все размеры для вычисления момента инерции маятника определяются с помощью штангенциркуля. Момент инерции маятника, как и его масса, является аддитивной величиной. Он складывается из трех величин:

- момента инерции стержня ролика $\frac{m_c r^2}{2}$
- момента инерции диска ролика, насаженного на стержень, $\frac{m_D(r^2 + R^2)}{2}$
- момента инерции съемного кольца $\frac{m_k(R_1^2 + R_2^2)}{2}$.

Для определения линейной и угловой скорости маятника воспользуемся системой уравнений динамики поступательного и вращательного движения и кинематической связи между угловыми и линейными характеристиками при движении без проскальзывания нити:

$$\begin{aligned} ma &= mg - 2T, \\ I\varepsilon &= 2Tr, \\ a &= \varepsilon r. \end{aligned}$$

Здесь m — масса маятника, I — его момент инерции, g — ускорение силы тяжести, r — радиус стержня, T — сила натяжения одной из нитей, a — ускорение поступательного движения центра масс маятника, ε — угловое ускорение маятника.

Зная линейное и угловое ускорение маятника, найдем линейную и угловую скорость маятника в нижней точке его траектории:

$$\begin{aligned} v &= at, \\ \omega &= \varepsilon t. \end{aligned}$$

10.3 Порядок выполнения работы

Рис. 10.1

Рис. 10.2

Внимание! В целях сохранения симметрии тела маятника его нужно оберегать от ударов.

1. Собрать установку, укрепив нижний кронштейн с фотодатчиком в нижнее положение шкалы так, чтобы верхняя плоскость кронштейна совпала с одной из рисок шкалы. Основание установки отрегулировать с помощью опор так, чтобы подвешенный диск находился против центра окна фотодатчика. Нижний край диска должен находиться на 4–5 мм ниже оптической оси фотодатчика. При этом ось ролика должна иметь строго горизонтальное положение.
2. Подключить фотодатчик и электромагнит, находящийся рядом с местом закрепления подвеса, к блоку питания. При включении кнопки «сеть» должно включиться табло индикации фотодатчика.
3. Симметрично наматывая нити маятника виток к витку от периферии к центру стержня ролика, закрепить его с помощью электромагнита в верхнем положении. В зафиксированном положении нити должны слегка провиснуть.
4. Нажав кнопку «сброс», убедиться, что на табло индикатора установлены нули.
5. Нажатием кнопки «пуск» освободить ролик от электромагнита. В момент отключения электромагнита начинается отсчет времени движения таймером блока. Отсчет времени прекращается при перекрытии диском окна фотодатчика. Время движения ролика t и его ход h , определенный по шкале на стойке, занести в таблицу. Для повторения опыта нажать предварительно кнопку «сброс».
6. По данным опыта определить относительную погрешность эксперимента для экспериментального и теоретического значения линейного ускорения:

$$a_{\text{э}} = \frac{2h}{t^2},$$

$$a_{\text{т}} = \frac{g}{1 + \frac{I}{mr^2}},$$

$$\varepsilon = \frac{a_{\text{э}} - a_{\text{т}}}{a_{\text{т}}} \cdot 100\%.$$

7. По данным опыта вычислить кинетическую и потенциальную энергию маятника Максвелла в крайних положениях. Найти работу сил трения как разность их значений.

10.4 Контрольные вопросы

1. Получить формулу момента инерции кольца массой m с внутренним и внешним радиусами R_1 и R_2 , пользуясь известной формулой для момента инерции диска и свойством аддитивности этой физической величины.

2. Вывести формулу для теоретического значения ускорения центра масс маятника.
3. Как изменится ход рассуждений о сохранении и изменении механической энергии маятника Максвелла, если за нулевой уровень потенциальной энергии принять уровень верхнего, а не нижнего положения ролика?