ВВЕДЕНИЕ

Физика – наука опытная: главная роль в установлении физических закономерностей принадлежит эксперименту. Эксперимент – система логически связанных целенаправленных действий. В физике в основе опытов лежат методы измерений величин и поэтому центральным является понятие методики проведения измерений.

При измерениях физических величин выполняются три последовательные операции: 1) создание экспериментальных условий, 2) наблюдение, 3) отсчет.

Создание экспериментальных условий, при которых проводятся измерения (постоянная величина напряжения или давления, значительный перепад температур, малые крутильные колебания и т.д.), осуществляется с помощью приборов, специализированных установок, электрических схем и т.п.

Отсчет следует за наблюдением и производится, как правило, по шкале с некоторым масштабом. В результате появляются “первичные экспериментальные данные”. Обработка результатов эксперимента и позволяет определить измеряемую величину.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет студента по лабораторной работе составляется по следующей схеме: 1. Титульный лист. 2. Цель работы. 3. Оборудование. 4. Теоретическое введение. 5. Методика проведения эксперимента. 6. Экспериментальная часть. 7. Обработка результатов измерения. 8. Выводы.

Титульный лист оформляется на первой странице отчета. В центральной части этой страницы указываются номер лабораторной работы и ее название. Ниже (справа) фамилия исполнителя, номер группы и дата проведения измерений. В правом нижнем углу – три короткие строчки для подписи преподавателя: “к работе допущен”, “работа выполнена”, “работа защищена”. Со второй страницы следует описание остальных разделов отчета. Пункты 1 – 5 выполняются до начала выполнения лабораторной работы, пункт 6 – в лаборатории, пункты 7 – 8 после получения экспериментальных данных.

Теоретический материал, схемы, рисунки должны быть представлены в отчете в объеме, необходимом для осмысленного выполнения лабораторной работы. Рисунки и схемы выполняются с применением чертежных принадлежностей. Графики представляются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчет.

По заочной форме обучения на выполнение лабораторных работ выделяется малый объем учебных аудиторных часов. Поэтому студентам-заочникам необходимо самостоятельно до начала занятий детально изучить описание лабораторной работы, используя дополнительно список

рекомендуемой литературы. Качество своей подготовки студенты должны проверять, отвечая на контрольные вопросы. Домашняя самостоятельная подготовка студента-заочника “отражается” письменно в той части отчета, которая оформляется до начала выполнения лабораторной работы (пункты 1 – 5).

Лабораторная работа № 1-5

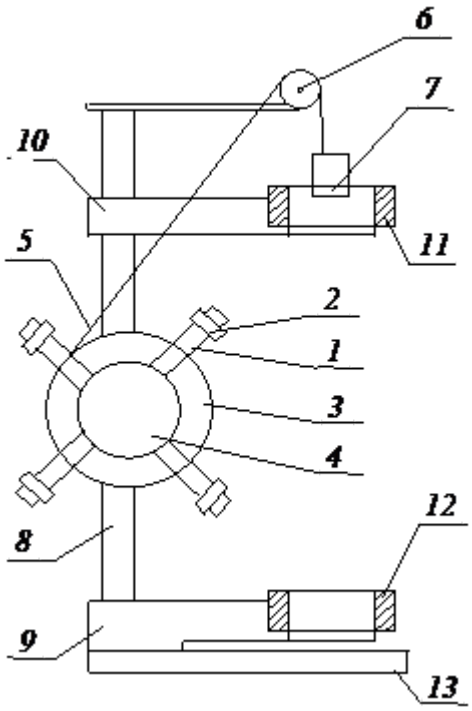
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Цель работы: экспериментальное изучение уравнения динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси и ознакомление с динамическим методом определения момента инерции твердого тела.

Оборудование: лабораторные установки с маятником Обербека в двух модификациях(тип установки указывает преподаватель):

1. “Механический” маятник Обербека с грузами, штангенциркуль, секундомер, масштабная линейка, весы с разновесами.
2. “Автоматический” маятник Обербека с грузами (с автоматической регистрацией времени движения грузов и автоматической установкой маятника), штангенциркуль.

Введение



Уравнение вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси имеет вид

$$Y\varepsilon = M, \qquad (1)$$

где M – сумма проекций на ось вращения всех моментов внешних сил, действующих на тело; Y – момент инерции твердого тела относительно неподвижной оси вращения; ε – угловое ускорение тела.

На рисунке приведена схема маятника Обербека, с помощью которого можно исследовать уравнение (1). Четыре спицы 1 соединены с втулкой резьбой под прямым углом, образуя крестовину. На спицах находятся цилиндрические грузы 2 массой m_1 каждый. Передвигая эти грузы по спицам, можно изменить момент инерции крестовины, а так- же сбалансировать маятник. Втулка и два шкива 3, 4 радиусами r_1 и r_2 насажены на общую ось, которая закреплена в подшипниках так, что вся система может вращаться вокруг горизонтальной оси. К шкиву (3 или 4) прикреплена нить 5, которая перекинута через блок

6. К концу нити привязана легкая платформа 7 известной массы. На платформе размещаются грузы, которые натягивают нить и создают вращающий момент внешних сил $M = T r$, где T – сила натяжения нити; r – радиус шкива. Силу T можно найти из уравнения (в проекциях на вертикальную ось) движения платформы с грузом $m g - T = m a$, где a – ускорение груза, m – масса платформы с грузом, g – ускорение свободного падения. Выразив отсюда T и подставив в выражение для M, получим:

$$M = m (g - a) r. \qquad (2)$$

Так как нить практически нерастяжима, то ускорение a связано с угловым ускорением ε соотношением $\varepsilon = a / r$. Ускорение груза, высота его падения h и время падения t связаны формулой для равноускоренного движения $h = a t^2 / 2$. Выразив отсюда a и подставив его в формулу для ε и (2), получим:

$$\varepsilon = 2 h / r t^2 = 4 h / D t^2; \qquad (3)$$

$$M = m (g - 2 h / t^2) D / 2, \qquad (4)$$

где D – диаметр шкива. По полученным значениям M и ε, используя (1), можно вычислить момент инерции маятника.

При учете сил трения на оси маятника Обербека уравнение, описывающее вращательное движение, принимает вид:

$$Y \varepsilon = M - M_{тр}, \qquad (5)$$

где $M_{тр}$ – момент силы трения.

Описание установки

1. “Механический” маятник Обербека изготовлен в виде переносного настольного прибора, схема которого соответствует рисунку. Маятник закреплен в металлическом каркасе так, что оси шкива 3 и блок 6 расположены на одном уровне и нить 5 от шкива 3 до блока 6 идет горизонтально.

2. “Автоматический” маятник Обербека представляет собой переносной настольный прибор. С помощью двух кронштейнов: нижнего неподвижного 9 и верхнего подвижного 10 маятник закреплен на вертикальной колонке 8. Основание колонны снабжено регулируемыми ножками, обеспечивающими горизонтальную установку прибора. Наверху колонны закреплен подшипниковый узел блока 6. На неподвижной втулке (закрытой шкивом 4) прикреплен тормозной электромагнит, который после подключения к нему напряжения питания удерживает с помощью фиксированной муфты систему крестовины вместе с грузами в состоянии покоя. Подвижный кронштейн 10 можно перемещать вдоль колонны и фиксировать его в любом положении, определяя, таким образом, длину пути падения груза h. Для отсчета длины пути на колонне нанесена миллиметровая шкала. На подвижном кронштейне размещен фотоэлектрический датчик 11, который

(после нажатия клавиши “Пуск”) запускает систему начала отсчета времени движения груза – схему работы миллисекундомера. На неподвижном кронштейне 9 закреплен фотоэлектрический датчик 12, вырабатывающий электроимпульс конца измерения времени движения груза и включающий тормозной электромагнит. К кронштейну 9 прикреплен кронштейн 13 с резиновым амортизатором, ограничивающим движение грузов. На основании прибора закреплен миллисекундомер, к гнездам которого подключены фотоэлектрические датчики 11, 12. На лицевой панели миллисекундомера расположены элементы управления: “СЕТЬ” – выключатель сети. Нажатие клавиши вызывает включение напряжения питания (при повторном нажатии – выключение) и автоматическое обнуление прибора (все индикаторы высвечивают цифру нуль, и светят лампочки фотоэлектрических датчиков). “СБРОС” – обнуление измерителя, при нажатии этой клавиши на табло секундомера будут высвечивать нули. “ПУСК” – управление электромагнитом. Нажатие клавиши вызывает освобождение электромагнита и генерирование импульса, разрешающего измерения.

Порядок выполнения работы

1. *Маятник Обербека*

1.1. С помощью регулируемых ножек прибора привести ось маятника в горизонтальное положение.

1.2 . Провести балансировку маятника.

Для этого на двух противоположных спицах крестовины оставьте по одному грузу m_1 на выбранных расстояниях R от оси вращения. Закрепив винтом на спице один из грузов на расстоянии R и передвигая второй груз на противоположной спице, добейтесь равновесия маятника и закрепите винтом в этом положении второй груз. Затем таким же образом сбалансируйте грузы на второй паре спиц на таком же расстоянии от оси вращения, и если маятник сбалансирован, то он находится в безразличном равновесии. Внести R в протокол измерений.

1.3. Измерить диаметр шкива D и внести его в протокол измерений.

1.4. Намотать нить на шкив, поднимая платформу с грузом 7 (m) на определенную высоту h (например, до уровня стола, на котором стоит прибор). Отпустить платформу с грузом с этой высоты, запуская одновременно секундомер. После прохождения платформы расстояния h остановить секундомер и занести время движения груза t в таблицу измерений.

С одним и тем же грузом рекомендуется проводить не менее трех измерений времени падения груза. Для расчета M и ε по формулам (3) и (4) берется среднее время движения данного груза.

1.5. Измерить M и ε для 5 – 6 разных грузов, постепенно нагружая платформу.

1.6. Построить график зависимости $\varepsilon\ (M)$ и проанализировать его.

1.7. Провести аппроксимирующую прямую, используя метод наименьших квадратов. Определить момент инерции маятника Обербека и момент сил трения, действующих на оси, согласно уравнению (5).

2. *На “автоматическом” маятнике Обербека*

2.1. Проверить надежность заземления прибора.

2.2. С помощью регулирующих ножек основания привести колонну прибора в вертикальное положение.

2.3. Сдвинуть верхний подвижный кронштейн 10 по колонне прибора 8 на выбранную высоту h и так установить , чтобы грузы 7, падая, проходили через середину рабочего окна фотоэлектрических датчиков. Занести h в протокол измерений.

2.4. Сбалансировать маятник (см. п. 1.2). При балансировке нужно следить, чтобы при вращении маятника грузы на спицах или винты, крепящие эти грузы, не задевали за основание, на котором закреплен подшипниковый узел крестовины. По этой причине грузы на спицах нельзя сдвигать к оси вращения маятника ближе третьей (считая от оси вращения) риски на спицах.

2.5. Измерить диаметр шкива D (или получить его значение от преподавателя) и внести его в протокол измерений.

ВНИМАНИЕ! Шкивы пластмассовые, имеют тонкие ребра, между которыми двигается нить. Расстояние между ребрами такое, что в них губки штангенциркуля входят вплотную и при неосторожном измерении (при перекосе штангенциркуля) эти ребра можно сломать.

2.6. Включить сетевой шнур в сеть питания.

2.7. Нажать клавишу “СЕТЬ”, проверить, светятся ли лампочки индикаторов обоих фотоэлектрических датчиков; на табло миллисекундомера должны высвечиваться нули.

2.8. Нажать клавишу “ПУСК”. При этом освободится блокировка движения тормозных электромагнитов.

2.9. Вращая крестовину против часовой стрелки и наматывая нить, перекинутую через блок 6, на шкив 3 или 4, поднять платформу с грузом 7 в верхнее положение, установив дно платформы точно на уровне с чертой на корпусе верхнего фотоэлектрического датчика. Нажать клавишу “ПУСК” еще раз. В этом случае движение груза будет заблокировано тормозным электромагнитом, и груз должен находиться в состоянии покоя.

2.10. Нажать клавишу “ПУСК” повторно. Произойдет разблокировка движения тормозным электромагнитом, груз придет в движение и будет запущен секундомер, измеряющий время движения груза. При прохождении грузом окна нижнего фотоэлектрического датчика сработает механизм торможения груза и на табло секундомера зафиксируется время движения груза. Занести это время в таблицу измерений. С одним и тем же грузом рекомендуется проводить не менее трех измерений времени падения.

2.11. Нажать клавишу “СБРОС”. При этом произойдут сброс показаний секундомера (на табло секундомера будут высвечивать нули) и освобождение блокировки движения тормозным электромагнитом.

2.12. Выполнить пункты 2.8 – 2.11 для 5-6 разных грузов, постепенно нагружая платформу.

Дополнительное задание

Изучить зависимость момента инерции маятника Y от расстояния R до оси вращения грузов m_1 на спицах при постоянной массе груза m на платформе. Построить график $Y = f(R^2)$. По графику определить Y_0 – момент инерции маятника без грузов m_1 на спицах.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.
2. Что такое момент инерции? Как можно изменить момент инерции маятника Обербека в данной работе?
3. Что такое момент силы? Как можно изменить момент силы, действующий на маятник Обербека, в данной работе?
4. Может ли влиять площадь платформы на общую величину момента сил трения?

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 352 с.
2. Лабораторные занятия по физике / Под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1983. – 425 с.
3. Каленков С.Г., Соломахо Г.И. Практикум по физике. Механика. – М.: Высш. шк., 1990. – 112 с.

Лабораторная работа № 1 – 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: изучение деформации сдвига металлов.

Оборудование: крутильный маятник, электронная установка, миллиметровая линейка, технические весы, микрометр, электрический секундомер.

Введение

Деформация – это изменение формы и размеров тела под действием внешних сил. Если после прекращения действия внешних сил тело

полностью восстанавливает свою первоначальную форму, то такие деформации называются абсолютно упругими. Различают два вида деформаций. Деформация растяжения (сжатия) и деформация сдвига. При деформации сдвига все плоские слои твердого тела, параллельные некоторой плоскости, смещаются параллельно друг другу, не искривляясь и не изменяясь в размерах.

Возникающие в твердом теле при деформации упругие силы подчиняются закону Гука, который в относительной форме для деформации сдвига можно сформулировать следующим образом: относительная деформация сдвига прямо пропорциональна приложенному касательному напряжению. Для небольших деформаций, которые можно считать абсолютно упругими, величина относительной деформации равна $\Delta l / L$ (рис. 1). Тогда закон Гука для деформации сдвига имеет вид

$$\Delta l/L = \Psi = P_r / G, \quad (1)$$

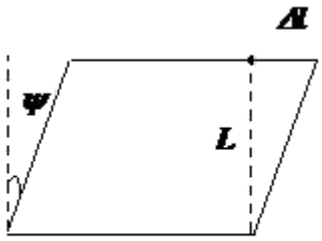


Рис. 1

где P_r – приложенное касательное напряжение; G – модуль сдвига.

Поскольку деформация при кручении есть деформация сдвига, то, изучая крутильные колебания, можно определить основную характеристику упругих свойств при сдвиге – модуль сдвига.

Описание установки

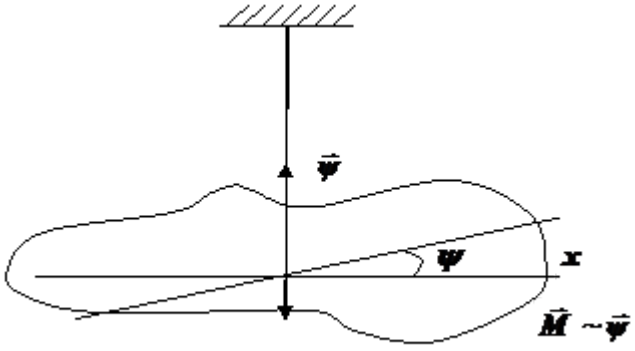


Рис. 2

Крутильный маятник, с помощью которого изучаются крутильные колебания, состоит из твердого тела, подвешенного на вертикальной тонкой нити или стержне (рис. 2). При отклонении стержня из положения равновесия в нем будут возникать упругие силы деформации сдвига, направленные к положению равновесия. Если записать основной закон динамики вращательного движения для такой системы с учетом того, что угловое ускорение равно $d^2\Psi/dt^2$, то уравнение движения будет аналогично уравнению свободных незатухающих колебаний

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} + \omega_0^2\psi = 0. \quad (2)$$

где $\omega_0^2 = D/Y$, $T_0 = 2\pi\sqrt{Y/D}$;

Y – момент инерции тела, $D = \pi d^4 G/32L$;
T_0 – период собственных колебаний;
L – длина стержня;
d – диаметр проволоки.

Таким образом, измерив период колебаний и определив момент инерции тела, можно найти модуль сдвига.

Если определение периода не составляет труда, то измерение момента инерции затруднительно, поскольку практически невозможно учесть все детали установки при вычислении момента инерции.

Эту трудность можно обойти, если учесть следующее: а) момент инерции – величина аддитивная, т.е. момент инерции всей установки равен сумме моментов инерций всех ее частей; б) теорема Штейнера связывает моменты инерции тела относительно параллельных осей. Исходя из этого момент инерции всего тела можно представить как сумму

$$Y = Y_0 + \tilde{Y}, \qquad (3)$$

где Y_0 – момент инерции какой-то эталонной части твердого тела;
$\tilde{Y}$ – момент инерции всего остального.

Тогда, определяя периоды колебаний для двух различных эталонных тел или для двух положений эталонного тела относительно оси вращения, можно, вычитая, исключить $\tilde{Y}$.

В данной работе реализуются два способа определения модуля сдвига.

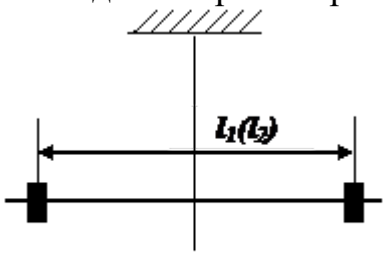


Рис. 3

В первом способе используется « механическая » установка, в ней маятник представляет собой подвешенный на тонкой металлической проволоке диаметром d стержень, вдоль которого перемещаются два калиброванных груза массой m (рис. 3). Тогда, измеряя периоды колебаний для двух различных положений груза l_1 и l_2 , находят разность моментов инерции для этих двух положений, получим выражение модуля в сдвиге в виде:

$$G = 64\pi mL\frac{(l_1 - l_2)}{d^4(T_1^2 - T_2^2)} \qquad (4)$$

.

Второй способ реализован с помощью электронной установки FPM-05, которая представляет собой рамку для крепления эталонных тел правильной формы, подвешенную на тонкую металлическую нить. Измеряя периоды колебаний для двух тел с известными моментами инерции или для одного тела относительно двух различных главных осей инерции, получим:

$$Y_1 = Y_0 + Y_{э1}, \qquad (5)$$
$$Y_2 = Y_0 + Y_{э2}\ .$$

Тогда $Y_{э1}\ Y_{э2} = Y_2\ Y_1 = \frac{D}{4\pi^2}\left(T_1^2 - T_2^2\right)$, а выражение для вычисления модуля сдвига будет иметь вид

$$G = \frac{128\pi}{d^4}\left(\frac{Y_1 - Y_2}{T_1^2 - T_2^2}\right). \qquad (6)$$

Из (4) видно, что для определения модуля сдвига необходимо измерить длину проволоки L, ее диаметр d, массу одного груза m, расстояния l_1 и l_2 между центрами грузов и соответствующие периоды T_1 и T_2. Для второго способа (формула (6)) вычисляются по формулам моменты инерции, например, двух различных осей инерции и измеряются соответствующие периоды T_1 и T_2.

Порядок выполнения работы

Задание 1 (по первому способу)

1. Измерить длину L и диаметр проволоки d с помощью микрометра или штангенциркуля.
2. Измерить массу одного груза.
3. Установить грузы на расстоянии l_1 между центрами так, чтобы они были симметричны относительно проволоки.
4. Измерить период колебаний T_1. Для этого измерить время, в течение которого произойдет n полных колебаний, и разделить на n. Повторить измерения 5 – 7 раз.
5. Таким же образом измерить период T_2.
6. Результаты измерений занести в таблицу.
7. Вычислить погрешности измерения периодов как результаты прямых измерений.
8. По формуле (4) определить модуль сдвига.
9. Найти погрешности измерений ΔG как результат косвенных измерений и занести в таблицу.

№ п/п	l_1 =			l_2 =			Примечание
	$T_{1i}=\frac{t_1}{n}$	ΔT_{1i}	$(\Delta T_{1i})^2$	$T_{2i}=\frac{t_2}{n}$	ΔT_{2i}	$(\Delta T_{2i})^2$	
1 2 …							

Окончание таблицы

№ п/п	l_1 =			l_2 =			Примечание
	$T_{1i}=\frac{t_1}{n}$	ΔT_{1i}	$(\Delta T_{1i})^2$	$T_{2i}=\frac{t_2}{n}$	ΔT_{2i}	$(\Delta T_{2i})^2$	
Среднее			$\frac{\sum(\Delta T_{1i})^2}{N}$			$\frac{\sum(\Delta T_{2i})^2}{N}$	

Задание 2 (по второму способу)

1. Измерить длину L и диаметр проволоки d с помощью микрометра или штангенциркуля.
2. Измерить массу предложенного эталонного тела.
3. Вычислить момент инерции тела относительно двух главных осей инерции, измерив для этого необходимые величины.
4. Определить погрешность в определении момента инерции.
5. Измерить периоды T_1 и T_2 для соответствующих моментов инерции, как и в задании 1 п. 4. Правила работы с установкой РРМ-05 смотрите в работе 1-7 или в описании установки.
6. Результаты измерения занести в таблицу.
7. Найти погрешность измерений T_1 и T_2.
8. По формуле (6) определить модуль сдвига.
9. Найти погрешность измерений.

Контрольные вопросы

1. Можно ли в качестве эталонного тела использовать: а) шар, б) куб?
2. Используя основные законы динамики вращательного движения и закон Гука, получить формулы (2), (4), (6).
3. Как будет зависеть погрешность измерений от массы грузов (качественно)?

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 352 с.
2. Стрелков С.П. Механика. – М.: Наука, 1975. – 560 с.
3. Методические указания к лабораторным работам по физике. Механика / Под ред. Н.Г. Конопасова; Владим. политехн. ин-т. – Владимир, 1983. – 45 с.