

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИНАМИКЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

МИХАЙЛОВ ПЕТР ГРИГОРЬЕВИЧ

Каф. ИВС ПГУАС г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, тел. 49-72-77, e mail pit_mix@mail.ru

АНАЛИЕВА АЖАР УРАЗБАЕВНА

Колледж экономики и информационных технологий НОК НИИТУ, г. Уральск, ул. М. Мамедовой, 81, тел. 8(7112)50-66-66, azhara_1980@mail.ru

Аннотация.

В статье рассмотрены методы и средства измерения момента инерции твердых тел различной формы. При этом, используемое в процессе проведения экспериментов простое лабораторное оборудование и измерительные средства, позволяют студентам быстро овладеть методикой проведения лабораторных работ и корректно ответить на основные вопросы. Существующие компьютерные варианты рассматриваемых лабораторных работ, основанные на применении специальных программ, требуют значительных затрат на их покупку, поэтому на практике для проведения экспериментов широко применяют стенды и измерительные приборы. В статье рассмотрены несколько методов для измерения динамических характеристик физических тел: -методами вращения и колебаний; -с помощью прибора Обербека. Определены цели работ, описаны методики проведения экспериментов и устройство используемых лабораторных стендов. Оборудование и приборы, используемые для проведения физического эксперимента включают в себя стенд в виде велосипедного колеса со шкивом и гнездами, набор гирь, металлический шарик, секундомер, измерительную линейку; штангенциркуль, прибор Обербека. Дано описание прибора Обербека, который представляет из себя крестовину, укрепленную на двойном шкиве. Ось шкива установлена горизонтально и закреплена в подшипниках. Крестовина вращается под действием силы натяжения нити, намотанной на шкив. Изменение момента силы натяжения производится либо с помощью грузов различной массы m , прикрепляемых к свободному концу нити, либо изменением радиуса шкива, на который наматывается нить. Изменение момента инерции прибора достигается передвижением четырех малых тел одинаковой массы m по направляющим крестовины на определенное расстояние от оси прибора. Выведены и проанализированы математические модели, описывающие физические явления. Предложены формы и последовательность измерения и обработка результатов физического эксперимента путем измерения основных параметров процесса, заполнения таблиц и последующей обработки экспериментальных данных с использованием программы *MS Excel*. По каждой лабораторной работе приведены контрольные вопросы и задания.

Ключевые слова: инерция; движение; вращение; колебание; физическое тело; эксперимент; Обербек.

Введение. Одними из наиболее сложных и мало наглядных для обучения экспериментальных работ, проводимых при изучении курса физики в ВУЗах, являются эксперименты, связанные с исследованием вращательного движения твердых тел. Основные трудности понимания и усвоения студентами данного материала связаны с тем, что физические характеристики тел вращения измеряются не напрямую, а через косвенные параметры, при этом сами физические величины, характеризующие динамику движения, получают в результате последующих вычислений. И, хотя, существуют компьютерные

варианты рассматриваемых лабораторных работ, основанных на применении специальных программ [1], на практике для проведения экспериментов широко применяют стенды и измерительные приборы.

Основная часть

I Лабораторная работа № 1. «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МЕТОДАМИ ВРАЩЕНИЯ И КОЛЕБАНИЙ ФИЗИЧЕСКОГО ТЕЛА»

1. Измерение момента инерции кольцевого тела, представленного в виде велосипедного колеса (рис. 1).

Целью работы является экспериментальное определение момента инерции методами вращения и колебаний физического тела.

Оборудование и приборы, используемые для проведения физического эксперимента: стенд, включающий велосипедное колесо со шкивом и гнездами; набор гирь; металлический шарик; секундомер; измерительная линейка; штангенциркуль.

Общие сведения: В работе момент инерции физического тела определяется двумя методами: методом вращения и методом колебаний [2-4].

В первом случае центр масс физического тела лежит на оси вращения. Колесо приводится во вращение силой натяжения нити, к свободному концу которой подвешен груз m (рис. 1).

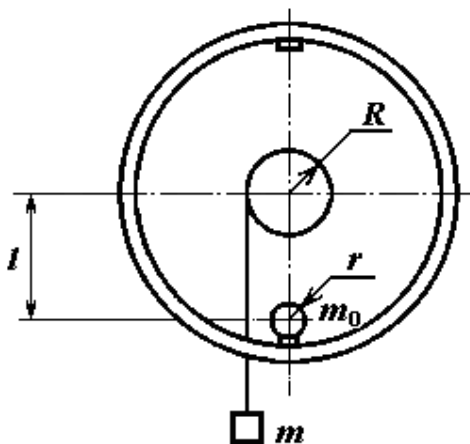


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для измерения момента инерции

Из уравнения динамики вращательного движения физического тела относительно неподвижной оси $I_K \varepsilon = M_Z$ можно вычислить момент инерции колеса I_K , если известны угловое ускорение ε и момент силы натяжения нити M_Z . Эти величины можно определить, измеряя путь h , пройденный грузом массой m за время t :

$$I_K = \frac{M_Z}{\varepsilon} = mR^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right), \quad (1)$$

где $\varepsilon = 2h/Rt^2$.

Формула (1) выведена без учета сил трения. Для повышения точности физического эксперимента следует учесть возникающие при вращении колеса силы трения. Для этого необходимо измерить максимальную массу подвешенного на нити груза Δm , при которой колесо еще не вращается. Так как в условиях равновесия $\Delta mgR = M_{тр}$, то расчетная формула с учетом сил трения на оси колеса принимает вид:

$$I_K = (m - \Delta m)R^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - \frac{m}{m - \Delta m} \right) \quad (2)$$

Во втором случае положение центра масс физического тела необходимо сместить ниже оси вращения. В этом случае колесо представляет собой физический маятник. При

отклонении его от положения равновесия на малый угол маятник приходит в колебательное движение с периодом, зависящим от его момента инерции относительно закрепленной оси:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m_M qd}}, \quad (3)$$

где m_M - масса маятника; d - расстояние от центра масс до оси вращения.

Выражение (3) позволяет вычислить момент инерции физического тела, путем измерения периода колебаний физического маятника.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой велосипедное колесо, способное вращаться вокруг горизонтальной оси (рис. 1). На шкив колеса намотана нить. К свободному концу нити прикреплена чашечка, на которую накладывают различные грузы. Время движения груза измеряют с помощью электрического секундомера. Расстояние h , которое проходит груз m , определяют измерительной линейкой.

На внутренней стороне обода колеса симметрично по диаметру имеются два одинаковых небольших гнезда. Помещая в одно из них металлический шарик массой m_2 , мы получаем физический маятник, способный колебаться вокруг оси колеса.

В этом случае момент инерции маятника I складывается из момента инерции самого колеса I_K и момента инерции шарика $I_{ш}$ относительно оси, проходящей через центр колеса:

$$I_{ш} = 0,4m_0r^2 + m_0l^2, \quad (4)$$

где r - радиус шарика, l - расстояние от центра масс шарика до оси вращения.

Учитывая (4), формула (3) преобразуется к виду:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{ш} + I_K}{m_0ql}}, \quad (5)$$

Для определения I_K измеряют период колебания маятника T (с помощью секундомера), массу шарика m_0 , радиус шарика r и расстояние l .

Измерения и обработка результатов физического эксперимента

Задание 1. Определение момента инерции колеса методом вращения.

Произведите необходимые измерения и вычислите момент инерции колеса для трех различных грузов. Интервалы времени t , за которые груз m проходит путь h , в каждом случае определите из трех измерений. Данные измерений t , h , m , Δm , R и вычисления I_K внесите в таблицу 1.

Задание 2. Определение момента инерции колеса методом колебаний.

Период колебаний определяется по времени 10 полных колебаний маятника. Данные измерений m_0 , t , d , l и вычислений T , $I_{ш}$, I_K внесите в таблицу 2. Сравните значения I_K , полученные двумя методами.

Оцените погрешность определения I_K методом колебаний и методом вращения, при вычислениях статистических величин и построения графиков рекомендуется использовать программу *MS Excel*

Таблица 1. Экспериментальные данные по лабораторной работе №1 (метод кручения)

№ груза	№ измерения, интервалы времени t			Постоянные величины	Вычисляемые величины
	1	2	3		
m_1				$h=$ $\Delta m=$ $R=$	I_K
m_2					I_K
m_3					I_K

Таблица 2 Экспериментальные данные по лабораторной работе №1 (метод колебаний)

№ колебания	Период T	Постоянные величины	Вычисляемые величины
1		$m_0 =$ $r =$ $l =$	$I_{к1}$
2			$I_{к2}$
.....			
10			$I_{к10}$

Контрольные вопросы и задания

1. С какой точностью необходимо взять из таблиц 1 и 2 значения π , g при определении I_k методом колебаний и методом вращения?
2. Какой из двух используемых методов (вращения или колебания) дает меньшую погрешность при определении I_k ?
3. Случайная или систематическая ошибка определяет точность измерения I_k в выполненных вами экспериментах?

II. Лабораторная работа № 2 «ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ОБЕРБЕКА»

Цель работы: экспериментальное изучение вращательного движения твердого физического тела с помощью прибора Обербека.

Приборы и принадлежности: прибор Обербека, секундомер, штангенциркуль, набор гирь, измерительная линейка.

Литература: [6-8].

Вращательное движение твердого физического тела относительно неподвижной оси z описывается уравнением:

$$I_z \varepsilon = M_z \quad (6)$$

где I_z - момент инерции твердого физического тела относительно неподвижной оси; ε - угловое ускорение; M_z - проекция момента внешних сил на ту же ось.

Экспериментальную проверку уравнения (6) можно провести, исследуя зависимость ε (M) при постоянном I или зависимость ε (I) при постоянном M .

Если цилиндр радиусом R вращается под действием силы натяжения намотанной на него нити с грузом, опускающимся в поле тяжести, то значение M_z можно вычислить, измерив, путь h , пройденный грузом m за время t :

$$M_z = m \left(g - \frac{2h}{t^2} \right) R; \quad \varepsilon = \frac{2h}{Rt^2} \quad (7)$$

Модель (7) получена без учета сил трения в оси прибора. При учете сил трения (см. лаб. работу №1):

$$M_z = (m - \Delta m) R \left(g - \frac{2h}{t^2} \frac{m}{m - \Delta m} \right), \quad (8)$$

где Δm — масса дополнительного груза, при котором начинается движение системы.

Опытная проверка основного уравнения динамики вращательного движения твердого физического тела была выполнена с использованием прибора Обербека.

Описание экспериментальной установки

Прибор Обербека (рис. 2) представляет собой крестовину, укрепленную на двойном шкиве. Ось шкива установлена горизонтально и закреплена в подшипниках. Крестовина вращается под действием силы натяжения нити, намотанной на шкив. Изменение момента силы натяжения производится либо с помощью грузов различной массы m , прикрепляемых к свободному концу нити, либо изменением радиуса шкива, на который наматывается нить. Изменение момента инерции прибора достигается передвижением четырех малых тел одинаковой массы m по направляющим крестовины на расстояние l от оси прибора.

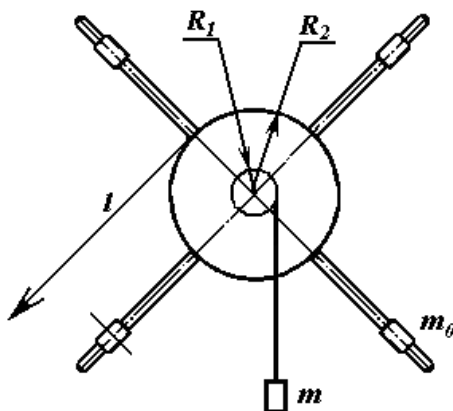


Рисунок 2. Кинематическая схема прибора Обербека

Измерения и обработка результатов

Задание 1. Исследование зависимости $\varepsilon(M)$.

Проведите измерения h и t для нескольких значений массы грузов, подвешиваемых к нити, намотанной сначала на шкив радиусом R_1 , а затем радиусом R_2 . Рассчитайте значения ε и M_Z . Используя программу *MS Excel* постройте график зависимости $\varepsilon(M_Z)$. Определите из графика значение I . Оцените приборную и случайную ошибки измерений I . Значения t , h , R_1 , R_2 , m , Δm , M_Z , ε и I внесите в таблицу 3.

Задание 2. Исследование зависимости I от распределения масс относительно оси вращения.

Проведите измерения h и t для двух разных положений тел на крестовине, соответствующих расстояниям l_1 и l_2 . При измерении расстояний l_1 и l_2 предварительно убедитесь, что прибор сбалансирован (грузы расположены симметрично). Используя формулы (7) и (8), из экспериментальных данных рассчитайте значения моментов инерции прибора I_1 и I_2 . Сравните разность этих значений с теоретическим значением

$$I_2 - I_1 = 4m_0(l_2^2 - l_1^2) \quad (9)$$

Значения h , t , l , Δm , m , R и I внесите в таблицу 4.

Расчеты целесообразно проводить с использованием программы *MS Excel* [8].

Таблица № 3 Экспериментальные данные по лабораторной работе №2 (Исследование зависимости $\varepsilon(M)$.)

№ груза	Радиусы шкивов, интервалы времени t и пройденное расстояние h						Постоянные величины	Вычисляемые величины
	R_1	h_1	t_1	R_2	h_2	t_2	$l =$ $\Delta m =$ $R =$	M_Z, ε I_K I_K I_K
m_1								
m_2								
m_3								

Таблица № 4 Экспериментальные данные по лабораторной работе №2 (Исследование зависимости I .)

№ груза	Радиусы шкивов, интервалы времени t и пройденное расстояние h				Постоянные величины	Вычисляемые величины
	l_1	h_1	l_2	h_2	$h =$ $\Delta m =$ $R =$	M_Z, ε I_K I_K I_K
m_1						
m_2						
m_3						

Контрольные вопросы и задания

1. Почему при выполнении эксперимента грузы на крестовине должны располагаться симметрично относительно оси вращения?

2.Случайной или систематической ошибкой определяется точность измерения I в эксперименте?

3.С какой точностью необходимо брать значения g из таблиц при расчете I ?

4. Найдите скорость груза и угловую скорость вращения крестовины через время t после начала движения исходя из уравнения динамики и закона сохранения энергии.

Заключение

Проведенные экспериментальные работы по определению динамических характеристик физических тел методами вращения и колебания показали корректность используемых математических моделей, методик и использованного измерительного оборудования.

Список литературы

1. Мартынюк А.С. Методические и технологические аспекты подготовки будущих учителей физики к использованию средств микроэлектроники в экспериментально-исследовательской работе // Фундаментальные исследования. 2013, №8–2. С.450–454;: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10001151.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. / М., Наука, 2002 - 718 с.
3. Ремизов А.Н., Потапенко А.Я. Курс физики. Учебник для вузов / М.: Дрофа, 2006 - 729 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики / М.: Академия, 2006 - 325 с.
5. Иродов И.Е. Механика. Основные законы / М.: Изд-во: Бином. Лаборатория знаний, 2010 - 309 с.
6. Трофимова Т.И. Основы физики в 5 книгах. Книга 1. Механика / М.: Высшая школа, 2007 - 215 с.
7. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны / М.: Лань, 2007 - 480 с.
8. Волков В.Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / СПб: Питер, 2010 - 256 с.

ACTUAL QUESTIONS OF TEACHING PHYSICS: METHODOLOGICAL APPROACHES TO CONDUCTING LABORATORY WORKS ON THE DYNAMICS OF SOLID BODY MOVEMENT

MIKHAILOV PETR

Kaf. IVS PGUAS Penza, st. German Titov, 28, tel. 49-72-77, e-mail pit_mix@mail.ru.

ANALIEVA AZHAR

College of Economics and Information Technologies NOC NIITU, Uralsk, ul. M. Mamedova, 81, tel. 8 (7112) 50-66-66, azhara_1980@mail.ru

Abstract.

The article describes the methods and means of measuring the moment of inertia of solids of various shapes. At the same time, used in the process of conducting experiments simple laboratory equipment and measuring tools, allow students to quickly master the methodology of the laboratory work and correctly answer basic questions. The existing computer variants of the laboratory work under consideration, based on the use of special programs, require considerable expenses for their purchase; therefore, in practice, stands and measuring instruments are widely used for conducting experiments. The article discusses several methods for measuring the dynamic characteristics of physical bodies: -methods of rotation and vibrations; - with the help of the Oberbeck device. The objectives of the work were determined, the methods of conducting experiments and the device of the laboratory stands used were described. Equipment and instruments used to conduct a physical experiment include a stand in the form of a bicycle wheel with a pulley and sockets, a set of weights, a metal ball, a stopwatch, a measuring ruler; Vernier caliper, Oberbeck device. A description of the Oberbeck device, which is a cross, mounted on a double pulley. The pulley axis is mounted horizontally and secured in bearings. The crosspiece rotates under the action of the tension force of the thread wound on the pulley. The change in the moment of the tension force is made either with the help of loads of different mass t attached to the free end of the thread, or by changing the radius of the pulley on which the thread is wound. A change in the moment of inertia of the device is achieved by moving four small bodies of the same mass m along the guides of the crosspiece a certain distance from the axis of the device. Mathematical models describing physical phenomena are derived and analyzed. Forms and sequence of measurement and processing of the results of a physical experiment are proposed by measuring the main process parameters, filling in tables and subsequent processing of experimental data using MS Excel. Test questions and tasks are given for each laboratory work.

Keywords: inertia; motion; rotation; swing; physical body; experiment; Oberbeck.