

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физика»

ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

«ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО

И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ»

для лабораторных работ М2, М3, М4, М5, М6, М8

Ростов-на-Дону 2023

УДК 530.1

Составители: С.И. Егорова, Т.П. Жданова, Г.Ф. Лемешко,

О.А. Лещёва, И.Г. Попова, Н.В., Пруцакова, О.М. Холодова

Практикум по физике «Динамика поступательного и вращательного движения» для лабораторных работ М2, М3, М4, М5, М6, М8 / сост. С.И. Егорова, Т.П. Жданова, Г.Ф. Лемешко, О.А. Лещёва,

И.Г. Попова, Н.В., Пруцакова, О.М. Холодова – Ростов-на-Дону:

Донской гос. техн. ун-т, 2023. – 35 с.

Практикум содержит краткую теорию по теме «Динамика поступательного и вращательного движения», описание рабочих установок и методику экспериментальных исследований.

Практикум предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Механика»).

УДК 530.1

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Физика» д-р физ.-мат. наук, проф. А.В.Благин

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

В печать 9.02.2023 г.

Формат 60х84/16 Объем 2,2 усл.п.л.

Тираж 50 экз. Заказ № 225

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия

344003 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

© Донской государственный технический университет, 2023

# *Краткая теория*

**Порядок выполнения работы Моментом инерции материальной точки** называется скалярная величина, равная произведению массы точки на квадрат расстояния от точки до оси вращения:

***I***  ***m******r2*** .

**Моментом инерции твердого тела** называется сумма моментов инерции материальных точек, из которых состоит тело:

***I*** ***miri2*** .

***i***

**Момент инерции –** это мера инертности при вращательном движении (в этом состоит физический смысл момента инерции).

**Теорема Штейнера**

*I*  *Ic*  *ma*2,

где ***Ic*** – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс; ***I*** – момент инерции этого тела относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстоянии ***a*** ; ***m*** – масса тела.

**Моментом силы относительно неподвижной точки** называется векторная физическая величина, определяемая векторным произведением радиус-вектора ***r***, проведенного из данной точки в точку 

приложения силы, на силу ***F*** :

***M******r******,F***.

Модуль момента силы относительно неподвижной оси:

***M***  ***Fr sin*** ***Fl*** ,

где ***l***  ***r sin***– плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения);  – угол между направлениями силы и радиуса-вектора. Направление момента силы совпадает с осью, относительно которой происходит вращение, и может быть определено по правилу буравчика.

**Работа** при вращении тела *dA M d* *z* ,

где ***d***– угол поворота тела; ***M z*** – момент силы относительно оси *z* .

**Момент импульса (момент количества движения)** твердого тела относительно оси вращения ***z*** :

***n***

***Lz*** ***mi******iri***  ***Iz******,***

***i******1***

где ***ri*** – расстояние от оси *z* до отдельной частицы тела; ***mi******i*** – импульс этой частицы; ***Iz*** – момент инерции тела относительно оси *z* ; – его угловая скорость.

**Основное уравнение динамики вращательного движения** твердого тела относительно неподвижной оси *z* :

***Mz***  ***Iz d*** ***Iz*** или ***Mz***  ***d Lz*** , ***dt dt***

***d***

где  – угловое ускорение; ***Iz*** – момент инерции тела относительно

***dt*** оси *z* ; ***Lz*** – момент импульса тела относительно оси *z* .

**Кинетическая энергия** тела, вращающегося вокруг неподвижной оси *z* ,

***Iz******2***

***ЕВр***   ***,***

***2***

где ***Iz*** – момент инерции тела относительно оси *z* ;  – его угловая скорость.

**Кинетическая энергия** тела, катящегося по плоскости без

скольжения, ***2 1 Ic******2 ,***

***Е*** ***m******c*** 

***2***

где ***m*** – масса тела; ***c*** – скорость центра масс тела; ***Ic*** – момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс;  – угловая скорость тела.

**Лабораторная работа № М2.**

# Определение моментов инерции тел на приборе Обербека

**Цель работы**: определение момента инерции тела на приборе Обербека. **Оборудование**: экспериментальная установка, секундомер.

**Теоретическая часть**

Маятник Обербека (рис. 1) состоит из шкива радиуса ***r*** и четырёх крестообразно расположенных тонких стержней, укреплённых на одной горизонтальной оси. По стержням можно перемещать и закреплять в нужном положении четыре дополнительных груза одинаковой массы ***m0 .***

Маятник приводится во вращательное движение при помощи груза массы ***m***

, прикреплённого к шнуру, намотанному на шкив.



Рис. 1

При разматывании нити груз ***m*** опускается, пройдя расстояние ***h***, измеряемое по шкале. Определив время падения, можно найти ускорение, с которым падает груз:

***at 2 2h***

***h***  ***a***  ***t2*** . (1) ***2***

Запишем второй закон Ньютона для груза ***m*** в проекции на направление движения: ***ma***  ***mg*** ***Т***  ***Т***  ***m( g***  ***a )***  ***m( g***  ***2h / t 2 )***, (2)

где ***mg*** – сила тяжести; ***Т*** – сила натяжения нити.

На шкив действует сила ***T*** , под действием которой он совершает вращение с угловым ускорением

***a 2h***

 ***r***  ***t2r*** . (3)

Поскольку по третьему закону Ньютона ***T***  ***T***, можно записать, что

момент силы, вращающий шкив, равен

***M***  ***Т***  ***r***  ***m( g***  ***a )r***  ***m( g***  ***2h / t 2 )r*** . (4)

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения

***M***

***M***  ***I***   ***I***  , (5)



где ***I*** - момент инерции вращающейся системы тел маятника Обербека. Подставляя в уравнение (5) ***M*** из (4) и  из (3) , получаем

***I***  ***m( g***  ***2h / t 2 )r 2t 2***  ***m( gt 2***  ***2h)r 2*** .

***2h 2h***

Учитывая, что радиус шкива равен половине его диаметра, т.е. ***r***  ***d / 2*** , получаем окончательную формулу для вычисления момента инерции системы

|  |
| --- |
| ***md 2 ( gt 2***  ***I***  ***2h)*** |
|   ***8h*** |

. (6)

Для нахождения момента инерции ***I0*** грузиков ***m0*** необходимо найти момент инерции нагруженной системы ***I1*** и момент инерции ненагруженной системы ***I2***:

***I0* = *I1*** -***I2*** . (7)

***Задание 1****. Определение момента инерции нагруженной системы.*

1. Насадить на крестовину (см. рис. 1) симметрично четыре груза ***m0*** на одинаковом расстоянии от центра ***R*** (по заданию преподавателя).
2. Намотать нить на шкив так, чтобы груз ***m*** находился на определённой высоте ***h***.
3. Занести в табл. 1 величины, указанные на установке (***m* , *m0* ,*d*** ), а также ***R*** и ***h***, и их абсолютные погрешности.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***m*** | ***m0*** | ***d*** | ***h*** | ***R*** | ***I1*** | ***I2*** | ***I0*** | ***Iтеор.*** |
| ***А*** | кг | кг | м | м | м | кг.м2 | кг.м2 | кг.м2 | кг.м2 |
| ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A*** ***А*** ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |

1. Отпустить груз и определить время падения его ***t1*** с заданной высоты. Измерения повторить несколько раз. Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ***t*** |
| ***t1*, с** |  |  |  |  |  |  |
|  ***t1*, с** |  |  |  |  |  |  |
| ***t 2* , с** |  |  |  |  |  |  |
|  ***t2*, с** |  |  |  |  |  |  |
| **2**  ***t22*, с** |  |  |  |  |  |

1. По формуле (6) по **среднему значению времени *t1*** определить момент инерции ***I1*** , результат занести в табл. 1.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Sn,t*** |  | ***t*(*n*,****)** | ***t2СЛ*** | ***tПР*** | ***t2ДОВ.*** | ***t2*** |
| **С** | – | – | **С** | **С** | **С** | % |
|  |  |  |  |  |  |  |

***Задание 2****. Определение момента инерции ненагруженной**системы.*

1. Снять грузики ***m0*** с крестовины.
2. Намотать нить на шкив так, чтобы груз ***m*** находился на той же высоте ***h***.
3. Отпустить груз и определить время падения ***t 2*** . Измерения повторить несколько раз. Результаты занести в таблицу 2.
4. Произвести статистическую обработку времени ***t2*** по методу Стьюдента. Данные занести в табл. 2 и 3 (см. прил.).
5. По формуле (6) **по среднему значению времени *t2*** определить момент инерции ***I2*** , результат занести в табл. 1.
6. Вычислить относительную и абсолютную погрешности по формулам:

***I2***  ***m***  ***2******d***  ***2g t2*** ***t22ДОВ***  ***2******h***  ***h***, (8) ***m d g t2***  ***2h h***

***I 2***  ***I2***  ***I2 (кг*** ***м2 )***. (9)

1. Занести значения погрешностей в табл. 1.

***Задание 3****. Определение момента инерции четырёх грузиков.*

По формуле (7) определить момент инерции ***I0*** четырёх грузиков. Результат занести в табл. 1.

***Задание 4****. Теоретическое определение момента инерции грузиков.*

1. Считая грузики ***m0*** материальными точками, рассчитать их момент инерции по формуле

***Iтеор .***  ***4m0 R2*** . (10) 2. Занести результат в табл. 1.

1. Вычислить относительную и абсолютную погрешности по формулам:

***теор*** ***m0 2******R*** ;

***I***  

***m0 R***

***Iтеор .***   ***Iтеор*** ***Iтеор (кг*** ***м2 )***.

1. Занести значения погрешностей в табл. 1.
2. Сравнить ***Iтеор.*** и ***I0*** . Для этого рассчитать погрешность по формуле:

***I0***  ***Iтеор***

***I*** ***100%***.

***Iтеор***

## Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции материальной точки?
2. Что называется моментом инерции твёрдого тела? От чего он зависит?
3. Момент инерции тел простейшей формы относительно оси, проходящей через центр инерции.
4. Физический смысл момента инерции.
5. Что называется моментом силы?
6. Вывести рабочую формулу для определения момента инерции.
7. Записать основной закон динамики вращательного движения.
8. Теорема Штейнера.
9. Найти момент инерции однородного шара радиусом ***R*** и массой ***m*** относительно оси вращения, проходящей по касательной к поверхности шара.
10. Вывести формулу относительной погрешности для момента инерции.

**Лабораторная работа № М3.**

# Определение зависимости момента инерции системы от распределения массы относительно оси вращения

**Цель работы**: Изучение зависимости момента инерции системы от распределения массы относительно оси вращения. **Оборудование**: экспериментальная установка, секундомер.

## Теоретическая часть

Маятник Обербека (рис. 1) состоит из шкива радиуса ***r*** и четырёх крестообразно расположенных тонких стержней, укреплённых на одной горизонтальной оси. По стержням можно перемещать и закреплять в нужном положении четыре дополнительных груза одинаковой массы ***m0*** .

Маятник приводится во вращательное движение при помощи груза массы ***m***

, прикреплённого к шнуру, намотанному на шкив.



Рис. 1

При разматывании нити груз ***m*** опускается, пройдя расстояние ***h***, измеряемое по шкале. Определив время падения, можно найти ускорение, с которым падает груз:

***at 2 2h***

***h***  ***a***  ***t2*** . (1) ***2***

Запишем второй закон Ньютона для груза ***m*** в проекции на направление движения:

***ma******mg******T***  ***T***  ***m( g***  ***a )***  ***m( g***  ***2h / t2 )***, (2)

где ***mg*** – сила тяжести; ***T*** – сила натяжения нити.

На шкив действует сила ***T*** , под действием которой он совершает вращение с угловым ускорением

***a 2h***

 ***r***  ***t2r*** . (3)

Поскольку по третьему закону Ньютона ***T***  ***T***, можно записать, что момент силы, вращающий шкив, равен

***M***  ***T*** ***r***  ***m( g***  ***a )r***  ***m( g***  ***2h / t 2 )r*** . (4)

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения

***M***

***M***  ***I***   ***I***  , (5)



где ***I*** – момент инерции вращающейся системы тел маятника Обербека.

Подставляя в уравнение (5) ***M*** из (4) и  из (3) , получаем

***I***  ***m( g***  ***2h / t 2 )r 2t 2***  ***m( gt 2***  ***2h)r 2*** .

***2h 2h***

Учитывая, что радиус шкива равен половине его диаметра, т.е., получаем окончательную формулу для вычисления момента инерции системы:

|  |
| --- |
| ***md 2 ( gt 2***  ***I***  ***2h)*** |
|   ***8h*** |

. (6)

## Порядок выполнения работы

1. Установить на крестовине (см. рис. 1) симметрично четыре груза ***m0*** на минимальном расстоянии ***R1*** от оси вращения. Занести значение ***R1*** в

таблицу 1.

1. Намотать нить на шкив так, чтобы груз ***m*** находился на определённой высоте ***h***. Занести значение ***h*** в табл. 2.
2. Отпустить груз и определить время падения его ***t1*** с заданной высоты. Измерения повторить несколько раз. Результаты занести в табл. 1.
3. Занести в табл. 2 величины, указанные на установке ( ***m* , *d*** ) и их абсолютные погрешности.
4. Посчитать по формуле (6) момент инерции системы ***I1*** . Результат занести в таблицу 2.
5. Повторить пп. 1–3,5 для других расстояний ***( R2 , R3 , R4 ,R5 )***– по заданию преподавателя.
6. Построить график зависимости момента инерции ***I*** от расстояния ***R*** : ***I***  ***f ( R)***.
7. Произвести статистическую обработку времени ***t1*** по методу Стьюдента, заполнив табл. 3 и 4 (см. прил.).
8. Посчитать относительную и абсолютную погрешности для ***I1*** по формулам

***I1***  ***mm***  ***2******dd***  ***2g t1g******t1 t21ДОВ*** ***2h*** ***2******h***  ***hh*** , (8)

***I1***  ***I1***  ***I1 (кг*** ***м2 )*** . (9)

1. Занести значения погрешностей в табл. 2.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | ***R1*** | ***t1*** | ***R2*** | ***t2*** | ***R3*** | ***t3*** | ***R4*** | ***t4*** | ***R5*** | ***t5*** |
|   | **м** | **с** | **м** | **с** | **м** | **с** | **м** | **с** | **м** | **с** |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| Ср. |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***m*** | ***d*** | ***h*** | ***I1*** | ***I2*** | ***I3*** | ***I4*** | ***I5*** |
| ***А*** | **кг** | **м** | **м** | **. 2**  **кгм** | **. 2**  **кгм** | **. 2**  **кгм** | **. 2**  **кгм** | **. 2**  **кгм** |
| ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A***  ***А***  ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ***t1*** |
| ***t1*, с** |  |  |  |  |  |  |
|  ***t1*, с** |  |  |  |  |  |  |
| ***t12*, с2** |  |  |  |  |  |

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Sn,t*** |  | ***t*(*n*,****)** | ***t1СЛ*** | ***tПР*** | ***t1ДОВ*** | ***t1*** |
| **С** | **–** | **–** | **С** | **С** | **С** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

## Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции материальной точки?
2. Что называется моментом инерции твёрдого тела? От чего он зависит?
3. Момент инерции тел простейшей формы относительно оси, проходящей через центр инерции.
4. Физический смысл момента инерции.
5. Что называется моментом силы?
6. Вывести рабочую формулу для определения момента инерции.
7. Записать основной закон динамики вращательного движения.
8. Теорема Штейнера.
9. Найти момент инерции однородного стержня массой ***m*** и длиной ***l*** относительно оси, проходящей на расстоянии ***l / 3*** от его конца.
10. Вывести формулу относительной погрешности для момента инерции.

**Лабораторная работа № М4.**

**Определение ускорения свободного падения**

# на машине Атвуда

**Цель работы:** экспериментально определить ускорение свободного падения.

**Оборудование:** машина Атвуда ФПН02-ПС, набор основных и дополнительных грузиков, электронный секундомер.

## Теоретическая часть

**Свободным падением** называется движение, которое совершало бы тело только под действием силы тяжести. Такое движение может быть, например, в трубке, из которой выкачали воздух. При свободном падении тела с небольшой высоты ***h*** от поверхности Земли (***h***  ***RЗ*** , где ***RЗ*** – радиус Земли) оно движется с постоянным ускорением ***g***, направленным по вертикали вниз.

Ускорение ***g*** называется **ускорением свободного падения.** Оно одинаково для всех тел и зависит лишь от высоты над уровнем моря и от географической широты на поверхности Земли. Ускорение ***g*** максимально на полюсах и минимально на экваторе Земли.

Впервые ускорение свободного падения было экспериментально определено итальянским физиком Г. Галилеем.

**Описание метода и экспериментальной установки для определения ускорения свободного падения** Метод основан на исследовании движения двух грузов, связанных нитью, перекинутой через неподвижный блок (рис. 1).

Грузы имеют одинаковые массы ***M*** , величина которых значительно превышает массу нити. Если на один из грузов положить дополнительный груз (перегрузок) массы ***m*** , то они начинают двигаться прямолинейно и равноускоренно с некоторым ускорением ***a*** , а блок начинает вращаться с угловым ускорением.

Применяя второй закон Ньютона, запишем уравнения движения грузов в проекциях на оси:

а) для груза без перегрузка:

***Ma***  ***T1***  ***Mg*** , (1)

Рис. 1

б) для груза с перегрузком

**(*M***  ***m*)*a***  **(*M***  ***m*)*g*** ***T*2,** (2) где ***a*** – ускорение движения грузов; ***T*1** и ***T*2** – силы натяжения нити (см. рис. 1); ***g*** – ускорение свободного падения.

Уравнение вращения блока (так как по 3-му закону Ньютона ***Т******1***  ***Т******1*** и ***Т******2***  ***Т******2*** ):

***I***  ***(T2*** ***T1 )R***, (3)

где ***I*** – момент инерции блока;  ***a*** – угловое ускорение блока; ***R*** – ***R***

радиус блока.

Решая систему уравнений (1) – (3), получим формулу для определения ускорения свободного падения в виде:

***I***

**(2*M*** ***m*** ***R*2 )*a*** . (4)

***g***  ***m***

Из выражения (4) следует, что для определения ускорения свободного падения необходимо знать массы грузов ***M*** и перегрузка ***m*** , момент инерции блока ***I*** и ускорение движения грузов ***а*** .

|  |
| --- |
| **2*H***  ***a***  **2**  ***t*** |
|

Ускорение движения грузов определяется из формулы пути при равноускоренном движении: ***Н***  ***at 2*** , откуда , (5)

***2***

где ***t*** – время, в течение которого грузы перемещаются на величину ***H*** . Подставив в формулу (4) выражение ускорения (5), получим:

– (6)

***2***

***2***

***1***

***t***

***m***

***H***

***)***

***R***

***I***

***m***

***M***

***2***

***(***

***2***

***g***







ускорение свободного падения, рассчитанное **с учетом момента**

**инерции** блока.

Силы натяжения нити ***T*1** и ***T*2** имеют различные значения и могут быть определены из уравнений (1) и (2)

***T*1**  ***M* (*g***  ***a*)** , (7)

***T*2**  **(*M***  ***m*) (*g***  ***a*)** . (8)

***I***

Если момент инерции блока настолько мал, что величиной ***R*2** можно пренебречь по сравнению с массой грузов ***M*** , то выражение (6) получает вид:

|  |
| --- |
| ***2(2***  ***g2***  ***М*** ***2m )H***  ***mt*** |

- (9)

ускорение свободного падения, рассчитанное **без учета момента инерции** блока.

***I***

Силы натяжения нити при условии ***R*2**  **0** имеют одинаковые значения

***T*1**  ***T*2**  ***T*** . Определить силу натяжения можно из формул (7) либо (8). Общий вид машины Атвуда показан на рис. 2.



Рис. 2

Конструкция машины была предложена Д. Атвудом и названа в его честь. Машина представляет собой настольный прибор с вертикальной стойкой *1*, на которой крепятся все основные элементы машины Атвуда, и основание *2*. На вертикальной стойке *1* расположены два кронштейна: нижний *3* и верхний *4*. На верхнем кронштейне *4* крепится блок с узлом подшипников качения, через блок перекинута нить с грузами *5* одинаковой массы. Перегрузок *6* кладут на правый груз *5*. На верхнем кронштейне находится электромагнит, который с помощью фрикциона при подаче на него напряжения, удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии. На нижнем кронштейне *3* крепится фотодатчик, который выдает электрический сигнал окончания счета времени равноускоренного движения грузов. Нижний кронштейн *3* представляет собой площадку с резиновым амортизатором, о который ударяется груз при его остановке. Нижний кронштейн имеет возможность свободного перемещения и фиксации на вертикальной стойке по всей ее свободной длине. На вертикальной стойке *1* укреплена миллиметровая линейка, по которой определяют начальное и конечное положения грузов, а следовательно, и пройденный путь. Начальное положение определяют визуально по нижнему срезу грузов, конечное положение – по индексу нижнего кронштейна. Секундомер *7* выполнен самостоятельным прибором и соединен кабелем с датчиком (фотоэлектрическим). На установке кнопка *8* – "сброс времени", кнопка *9* – "пуск", кнопка *10* – "сеть"

## Порядок выполнения работы

***Задание 1.*** *Определение ускорения свободного падения с учетом момента инерции блока.*

1. Перекинуть нить с двумя грузам через блок и при необходимости отрегулировать положение основания таким образом, чтобы груз с перегрузком проходил по середине рабочего окна фотодатчика.
2. Включить в сеть шнур питания секундомера.
3. Привести подвижную систему (грузы на нити) в исходное положение, т.е. установить правый груз в верхнее положение.
4. Нажать на кнопку "Сеть" секундомера, при этом сработает электромагнит и блок потеряет возможность вращаться.
5. Положить на правый груз перегрузок известной массы ***m*** .
6. Определить пройденный путь ***Н*** правого груза по шкале как расстояние от верхнего до нижнего положений и занести в табл. 3.
7. Нажать на кнопку "Пуск" секундомера и определить время, в течение которого груз проходит расстояние ***Н*** . Опыт повторить не менее 5 раз. Результаты занести в табл. 1.
8. Произвести статистическую обработку времени и заполнить таблицы 1 и 2.

***I***

1. Заполнить таблицу 3 (масса грузов ***М*** , перегрузка ***m*** и ***R*2** указаны на установке).
2. По формуле (5) по среднему значению времени ***t*** рассчитать ускорение ***a*** движения грузов. Занести в табл. 3.
3. По формуле (6) по среднему значению времени ***t*** определить ускорение свободного падения ***g1*** с учетом момента инерции блока.

Занести в табл. 3.

1. Относительную и абсолютную погрешности при определении ускорения свободного падения найти по формулам:

***g1***  ***2******M*** ***m*** ***H*** ***m 2******tДОВ*** ,

***t***

***m***

***H***

***I***

***m***

***M***

***2***











***R2***

***g1***   ***g1******g1***.

1. По формулам (7) и (8) определить силы натяжения нити. Результаты записать в таблицу 3.
2. Относительные и абсолютные погрешности при определении сил натяжения найти по формулам:

***H 2******tДОВ*** 

***g******a***  

***T1*** ***M***   ***H t***  ,

***M g******a***

***T1***  ***T1******Т1*** ,

***H 2******tДОВ*** 

***g******a***  

***T2*** ***M*** ***m***   ***H t***  ,

***M***  ***m g******a***

***T2***  ***T2*** ***T2*** .

Результаты записать в табл. 3.

***Задание 2.*** *Определение ускорения свободного падения без учета момента инерции блока.*

1. Используя данные табл. 1 и 3, по формуле (9) по среднему значению времени ***t*** найти ускорение свободного падения ***g2*** , занести в табл. 3.
2. Относительную и абсолютную погрешности при определении ускорения свободного падения найти по формулам:

***g2***  ***2******M*** ***m*** ***H*** ***m 2******t ДОВ*** ,

***t***

***m***

***H***

***m***

***M***

***2***









***g2***   ***g******g2***.

1. Сравнить результаты, полученные по формулам (6) и (9), рассчитать погрешность по формулам:

***1***  ***gò åî ðg***  ***g1*** ***100%***, ***2***  ***gò åî ðgò åî ð*** ***g2*** ***100%***,

***ò åî ð***

где ***gтеор***  **9,81 *м*2** ; ***g*1**– ускорение свободного падения, вычисленное по ***с***

формуле (6); ***g*2** – ускорение свободного падения, вычисленное по формуле

(9).

1. Сделать вывод.

Таблица 1



Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Sn t*, |  | ***t*(*n*,****)** |  ***tСЛ*** | ***tПР*** | ***tДОВ*** | ***t*** |
| ***с*** | – | – | ***с*** | ***с*** | ***с*** | **%** |
|  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***I***    ***R*2** | ***M*** | ***m*** | ***H*** | ***a*** | ***g1*** | ***g2*** | ***T*1** | ***T*2** |
| ***A*** | ***кг*** | ***кг*** | ***кг*** | ***м*** | ***м***    **2**  ***с*** | ***м***    **2**  ***с*** | ***м***    **2**  ***с*** | ***Н*** | ***H*** |
| ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A***  ***А***  ***А*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Контрольные вопросы

1. Что называется свободным падением тела?
2. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?
3. Сформулировать законы Ньютона.
4. Записать закон всемирного тяготения.
5. Записать основной закон динамики вращательного движения. 6. Что называется моментом инерции материальной точки, твердого тела?
6. Что характеризует момент инерции и от каких факторов он зависит.
7. Теорема Штейнера.
8. Найти момент инерции однородного стержня массой ***m*** и длиной ***l*** относительно оси, проходящей на расстоянии ***l / 4*** от его конца.

**Лабораторная работа № М5.**

**Изучение динамики вращательного движения**

# с помощью маятника Максвелла

**Цель работы**: Определение момента инерции маятника Максвелла с учётом и без учёта силы трения, и сравнение его с теоретическим расчётом.

Вычисление силы трения. **Оборудование**: экспериментальная установка.

## Теоретическая часть

Если маятник массы ***m*** опускается с высоты ***H*** , а поднимается на высоту ***h***  ***H*** , то можно сказать, что часть его потенциальной энергии расходуется на работу против сил трения, т.е.

***mgH***  ***mgh*** ***Fтр .( H***  ***h)***. (1)

Из этого уравнения получаем выражение для вычисления силы трения:

|  |
| --- |
| ***mg( H***  ***Fтр .***   ***h)***  ***H***  ***h*** |

. (2)

С другой стороны, потенциальная энергия маятника в верхней точке (

***mgH*** ) превращается в нижней точке в кинетическую энергию

***m******2 I******2*** поступательного движения ( ), вращательного движения ( ) и в

***2 2***

работу против сил трения (***Fтр .***  ***H*** ), т.е.

***mgH***  ***m******2***  ***I******2***  ***Fтр .***  ***H*** . (3)

***2 2***

Решаем совместно уравнения (1)–(3), учитывая, что ***R0*** ***D0 2*** и

 ***2Ht*** , где – линейная скорость движения маятника;  – его угловая скорость вращения; ***R0*** – радиус оси, на которую наматывается нить; ***t*** – время движения маятника до нижней точки.

Получаем выражение для момента инерции маятника Максвелла **с учётом силы трения:**

|  |
| --- |
| ***mD 2***  ***gt 2h***   ***I1***  ***0***  ***H******H***  ***h***  ***1***  ***4***  |

**.** (4)

Если рассмотреть идеальный вариант, т.е., когда ***Fтр .***  ***0***, то ***h***  ***H*** , и мы получаем выражение для момента инерции маятника Максвелла **без учёта силы трения:**

|  |
| --- |
| ***mD2***  ***gt2***   ***I2***  ***0***  ***2H***  ***1***  ***4***  |

. (5)

## Описание экспериментальной установки

На вертикальной стойке основания *1* (рис. 1) крепятся два кронштейна: верхний *2* и нижний *3*. Верхний кронштейн снабжён электромагнитами и устройством *4* для крепления и регулировки бифилярного подвеса *5*.



1



3



7



5



6



8



9



1

0



2



4



Рис. 1

Маятник представляет собой диск *6*, закреплённый на оси *7*, подвешенной на бифилярном подвесе. На диск крепятся сменные кольца *8*. Маятник со сменными кольцами фиксируется в верхнем исходном положении с помощью электромагнита. На вертикальной стойке *1* нанесена миллиметровая шкала, по которой определяется высота перемещения маятника. Фотоэлектрический датчик *9* закреплён с помощью кронштейна *3* в нижней части вертикальной стойки. Кронштейн *3* обеспечивает возможность перемещения фотодатчика вдоль вертикальной стойки и его фиксирования в любом положении в пределах шкалы (0–42 см). Фотодатчик *9* предназначен для передачи электросигналов на миллисекундомер *10*, который выполнен самостоятельным прибором с цифровой индикацией времени и жёстко закреплён на основании *1*.

## Порядок выполнения лабораторной работы

***Задание 1.*** *Определение моментов инерции маятника Максвелла с учётом и без учёта силы трения. Определение силы трения.*

1. Занести в табл. 1 все известные величины и их абсолютные погрешности, указанные на установке, учитывая, что масса маятника ***m***  ***mО*** ***mД*** ***mК*** , где ***mО*** – масса оси; ***mД*** – масса диска; ***mК*** – масса

кольца.

1. Установить нижний кронштейн *3* с фотодатчиком *9* (рис. 1) на высоте ***H*** , указанной преподавателем. Занести ***H*** в табл. 1.
2. Установить с помощью устройства 4 необходимую длину бифилярного подвеса таким образом, чтобы нижний край среза кольца маятника находился на 5 мм ниже оптической оси фотодатчика *9*, а ось маятника занимала горизонтальное положение.
3. Включить в сеть шнур питания миллисекундомера.
4. Нажать на кнопку «сеть», расположенную на лицевой панели миллисекундомера, при этом должна загореться лампочка фотодатчика и цифровые индикаторы миллисекундомера.
5. Вращая маятник, зафиксировать его в верхнем положении при помощи электромагнита, при этом надо следить за тем, чтобы нить наматывалась виток к витку.
6. Нажать кнопку «сброс» и убедиться, что на индикаторе устанавливаются нули.
7. При нажатии кнопки «пуск» на миллисекундомере электромагнит обесточивается, маятник раскручивается, миллисекундомер начинает отсчёт времени, а в момент пересечения маятником оптической оси фотодатчика отсчёт времени прекращается.
8. Произвести отсчёт времени хода маятника ***t*** по миллисекундомеру. Одновременно измерить высоту подъёма маятника ***h***. Повторить измерения 5 раз. Все значения ***t*** и ***h*** занести в табл. 2.
9. Вычислить по формуле (2) силу трения для среднего значения ***h***

.

1. Вычислить по формуле (4) момент инерции маятника ***I1*** с учётом силы трения (для средних значений времени ***t*** и высоты ***h***).
2. Вычислить по формуле (5) момент инерции маятника ***I2*** без учёта силы трения (для средних значений времени ***t*** и ***h***).
3. Результаты вычислений по формулам (2), (4) и (5) занести в табл.

4.

1. Произвести статистическую обработку результатов измерения времени ***t*** и заполнить табл. 2 и 3.
2. Вычислить относительные и абсолютные погрешности по формулам (6) – (11) и занести в табл. 4:

***Fтр*** ***m******H*** ***h*** ***H*** ***h*** , (6) ***m H*** ***h H*** ***h***

***Fтр .***  ***Fтр .*** ***Fтр*** ; (7)

***I1***  ***m***  ***2******DО***  ***2******t ДОВ*** ***H*** ***H*** ***h*** , (8)

***h***

***H***

***H***

***t***

***D***

***m***

***О***







***I1***   ***I1*** ***I1*** . (9)

***I2***  ***m***  ***2******DО 2******t ДОВ*** ***H*** , (10)

***H***

***t***

***D***

***m***

***О***





***I2***   ***I2*** ***I2*** . (11)

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***mO*** | ***mД*** | ***mК*** | *m* | ***H*** | ***DO*** | ***DД*** | ***DК*** |
| *А* | ***кг*** | ***кг*** | ***кг*** | ***кг*** | ***м*** | ***м*** | ***м*** | ***м*** |
| ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A***  ***А***  ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***A*** |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ***ср*** |
| ***h***, ***м*** |  |  |  |  |  |  |
| ***h***, ***м*** |  |  |  |  |  |  |
| ***t*** , ***с*** |  |  |  |  |  |  |
|  ***t***, ***с*** |  |  |  |  |  |  |
| ***t2*** ***с2*** |  |  |  |  |  |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Sn,t*** |  | ***t*(*n*,****)** |  ***tСЛ*** | ***tПР*** | ***tДОВ*** | ***t*** |
| ***с*** | – | – | ***с*** | ***с*** | ***с*** | **%** |
|  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***Fтр .*** | ***I1*** | ***I2*** | ***Iтеор.*** |
| ***А*** | ***Н*** | ***кг*** ***м2*** | ***кг*** ***м2*** | ***кг*** ***м2*** |
| ***А*** |  |  |  |  |
| ***A***  ***А***   ***А*** |  |  |  |  |
| ***A*** |  |  |  |  |

***Задание 2.*** *Теоретический расчёт момента инерции маятника Максвелла.*

1. Момент инерции маятника Максвелла ***Iтеор.*** равен сумме моментов инерции оси ***IО*** , диска ***IД*** и кольца ***IК*** :

***Iтеор.***= ***IО*** + ***IД*** + ***IК*** ,

где ***IО***  ***mО DО2*** , ***IД***  ***mД(DО2***  ***DД2 )***, ***Ik***  ***mК(DД2***  ***DК2 )***

***8 8 8***

Результат занести в табл. 4.

3. Сравнить теоретическое и экспериментальное значение момента инерции без учета силы трения. Посчитать погрешность по формуле: ***Iтеор***  ***I2***

***I*** ***100%***.

***Iтеор***

## Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции материальной точки?
2. Что называется моментом инерции твёрдого тела? От чего он зависит?
3. Момент инерции тел простейшей формы относительно оси, проходящей через центр инерции.
4. Физический смысл момента инерции.
5. Вывести формулу для определения силы трения при движении маятника Максвелла.
6. Вывести формулу для определения момента инерции маятника Максвелла.
7. Записать основной закон динамики вращательного движения.
8. Теорема Штейнера.
9. Найти момент инерции однородного диска радиусом *R* относительно оси вращения, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его край.
10. Чем обусловлена сила трения в данной работе?

**Лабораторная работа № М6.**

# Определение момента сил трения и

# момента инерции махового колеса

**Цель работы:** Определение момента сил трения, момента инерции махового колеса и сравнение его с теоретическим расчётом.

**Оборудование**: экспериментальная установка, секундомер, штангенциркуль.

**1. Описание экспериментальной установки. Вывод формул для**

## определения момента сил трения и момента инерции махового колеса



H



1



<

М

тр

>



h



2



6



5



3



Рис.1



М



D



7



m

4

Измерительная установка состоит из махового колеса (диска) 1 со шкивом 2, насаженного на вал 3, установленный на шарикоподшипниках 4. На шкив наматывается эластичная нить 5, к концу которой крепится груз 6, масса которого задана. Положение груза фиксируют по отсчетной линейке

7.

1) Если груз массы *m* опускается с высоты *H* , а поднимается на высоту *h*  *H* , то можно сказать, что потенциальная энергия системы «маховое

колесо-груз» убывает за счет работы среднего момента сил трения

*Атр.*  *Еп*   *(mgh**mgH)* *mg(H* *h)*. (1) Средний момент сил трения обусловлен трением оси в подшипниках, махового колеса о воздух. Потерей энергии на деформацию нити и трение груза о воздух пренебрегаем.

Работа среднего момента сил трения можно выразить через угловое перемещение колеса :

*Атр.*  *Мтр* . (2)

Угловое перемещение  равно сумме углового перемещение при опускании*1* и подъёме груза *2*:

*1* *2* , (3)

Угловое перемещение колеса  связано с числом его оборотов *N* соотношением  *2**N* . Число оборотов *N* можно найти, зная диаметр шкива и длину нити наматываемой на шкив

*N1*  *Н* и *N2*  *h* , (4)

*D* *D*

*2Н 2h*

С учетом (4) *1*   и *2*  , а выражение (3) примет вид

*D D*

 *2 Н*  *h* . (5)

*D*

Подставим (5) в (2) получим *2(H*  *h)*

*Атр.*  *М тр*  (6)

*D*

Из (1) и (6) получаем выражение для вычисления момента сил трения:

*М тр*  *mg(H*  *h)D* . (7)

*2(H*  *h)*

2) Если груз из верхней точки опускается в нижнюю, то потенциальная энергия груза (*mgH* ) превращается в кинетическую энергию

*m*2 поступательного движения груза ( ), вращательного движения диска, 2

*I*2 шкива и вала тел ( ) и работу среднего момента сил трения 2

*m**2 I**2*

*mgH*    *Атр* . (8)

*2 2*

Работа среднего момента сил трения:

*Атр*  *М тр*

С учетом (9), уравнение (8) примет вид:

*mg(H*  *h)D 2Н*

*1*   (9)

*2(H*  *h) D*

*mgH*  *m**2*  *I**2*  *mg(H*  *h)H* (10)

*2 2 (H*  *h)*

2*H*

Учитывая, что линейная скорость движения груза  *аt*   и *t*

*r*  *D*2 где *D* - диаметр шкива, на который наматывается нить, *t*

- время движения груза до нижней точки, получим выражение для угловой скорости шкива

 *2* *4H* . (11)

*D D**t*

Совместное решение (10) и (11) позволяет определить момент инерции махового колеса:

|  |
| --- |
| *m* *D*  *Iэксп.*  2 *H(gtH*2*h* *h)* 1  4  |

**.** (12)

**2. Порядок выполнения лабораторной работы:**

***Задание 1.*** Определение среднего момента сил трения и момента инерции махового колеса.

1. Занести в таблицу 1 все известные величины и их абсолютные погрешности, указанные на установке: *m*-масса груза, *R* - радиус диска, - плотность материала диска и *d* - толщина диска.
2. С помощью штангенциркуля измерить диаметр шкива *D* (повторить 5 раз). Вычислить среднее значение *D* и занести в таблицу 1.
3. Включить в сеть шнур питания секундомера. Нажать на кнопку «сеть», расположенную на лицевой панели секундомера.
4. Вращая маховое колесо, зафиксировать груз в верхнем положении на высоте *H* , указанной преподавателем, при этом надо следить за тем, чтобы нить наматывалась виток к витку. Удерживать груз в верхнем положении. Занести *H* в таблицу 1.
5. Нажать кнопку «сброс» и убедиться, что на табло установлены нули.
6. Груз отпустить и одновременно нажать кнопку «пуск» на секундомере, секундомер начинает отсчёт времени, а в момент пересечения грузом нижнего положения нажать кнопку «стоп».
7. Произвести отсчёт времени хода груза *t* по секундомеру. Одновременно измерить высоту подъёма груза *h*. Повторить измерения 5 раз. Все значения *t* и *h* занести в таблицу 2.
8. Вычислить по формуле (7) средний момент сил трения (для среднего значения *h*).
9. Вычислить по формуле (12) момент инерции махового колеса *Iэксп* (для средних значений времени *t* и *h*).
10. Результаты вычислений по формулам (7) и (12) занести в таблицу

3.

1. Произвести статистическую обработку результатов измерения времени *t* и заполнить таблицу 2.
2. Вычислить относительные и абсолютные погрешности по формулам (13) – (16) и занести в таблицу 3:

*Mтр*. *Мтр*. *m*    *H h* *H h* *D* , (13)

*Мтр*. *m H h* *H h* *D*

*M Mтр*.  *тр*.*Мтр*. ; (14)

*Iэксп* *Iэксп* *m* 2*D* 2 *t*  *H*  *H h* , (15)

*Iэксп m D t H H* *h*

*Iэксп*  *Iэксп**Iэксп* (16)

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *m* |  | *D* | *R* | *d* | *H* |
|   | *кг* | *кг*  *м*3 | *м* | *м* | *м* | *м* |
| *A* |  |  |  |  |  |  |
| *А* |  |  |  |  |  |  |
| *A* |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | *t* | *t* | *t*2 | *Sn t*, | *tn*, | *tсл*. | *tпр*. | *tдов*. | *h* | *h* |
|  | с | с | с2 | с | - | с | с | с | *м* | *м* |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ср. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *Мтр*.  | *Iэксп* | *Iтеор*. | *Iтеор*. |
|   | *Н*  *м* | *кг*  *м*2 | *кг*  *м*2 | *%* |
| *A* |  |  |  |  |
| *A* |  |  |  |
| *A* |  |  |  |

***Задание 2.*** Теоретический расчёт момента инерции махового колеса.

1. Момент инерции махового колеса *Iтеор*. равен:

*теор* 1 2*V*  *R* 2 *d*  *R*4 .

*I* .  *M*  *R* 

2

Моменты инерции шкива и вала не учитываем.

Рассчитать относительную погрешность по формуле

| *Iтеор*. *Iэксп*. |

*Iтеор*.  *Iтеор*.

Результат занести в таблицу 3.

2. Сравнить теоретическое и экспериментальное значения момента инерции и объяснить результат. Сделать вывод.

## Контрольные вопросы

1.Что называется моментом инерции материальной точки?

2.Что называется моментом инерции твёрдого тела? От чего он зависит?

1. Момент инерции тел простейшей формы относительно оси, проходящей через центр инерции. Физический смысл момента инерции.
2. Вывести формулу для определения среднего момента сил трения.
3. Вывести формулу для определения момента инерции махового колеса.
4. Записать основной закон динамики вращательного движения.
5. Теорема Штейнера.
6. Чем обусловлен момент сил трения в данной работе?

**Лабораторная работа № М8.**

# Определение силы трения качения

**Цель работы:** исследование кинематики и динамики равноускоренного движения системы связанных тел. Определение силы трения качения и работы, совершаемой системой против сил трения.

**Оборудование:** установка для выполнения работы, секундомер, набор грузов.

***Краткая теория***

Согласно второму закону Ньютона

***F*** ***a***  , (1) ***m***

где ***a***– ускорение тела (или системы тел);***F*** – равнодействующая сил, действующих на тело; ***m*** – масса тела.

Принципиальная схема установки представлена на рис.1.



Рис.1

В работе исследуется движение тележки массой ***m2*** , движущейся горизонтально под действием силы натяжения нити, перекинутой через блок, к концу которой привязан груз массой ***m1*** . На рис.1 показаны силы, действующие на тела.

Следует отметить, что на тележку действует сила трения качения, возникающая между колесами, катящимися без скольжения, и поверхностью. Она намного меньше силы трения скольжения. Из теории трения следует, что сила трения качения для четырех колес равна

***Fтр*** ***m2g ,*** (2)

***4R***

где -коэффициент трения качения, ***R*** - радиус колеса тележки.

Из формулы (2) получаем коэффициент трения качения

|  |
| --- |
| ***4Fтр R***    ***.***  ***m2g*** |

(3)

Считаем нить нерастяжимой, поэтому модули ускорений тел одинаковы, т.е.

***aх***  ***ау***  ***а.*** (4)

Если пренебречь массами нити и блока, а также силой трения в блоке, то модули сил натяжения тоже одинаковы, т.е.

***Т1***  ***Т2***  ***Т.*** (5)

Запишем второй закон Ньютона для двух тел с учетом (4) и (5):

***mТ 1******gF******трT*** ***mm21aa,.*** (6)

Решая эту систему, получаем:

***Fтр***  ***m1g***  ***a******m1***  ***m2***. (7)

Воспользуемся кинематическими формулами для пути ***l*** и скорости  при равноускоренном движении без начальной скорости:

***l***  ***at2 ;***  ***at.*** (8) ***2*** Из (8) получаем:

***a***  ***2l2*** . (9) ***t***

Подставляем (9) в (7):

|  |
| --- |
| ***2l***  ***Fтр***  ***m1g***  ***2*** ***m1***  ***m2***  ***t*** |

. (10)

При движении тел часть механической энергии затрачивается на работу против сил сопротивления:

***Асопр***  ***m1g*** ***H***   ***m12******2***  ***m22******2*** ***,*** (11)

где ***m1g*** ***H*** – потенциальная энергия тела ***m1*** , находящегося на высоте ***H*** , потенциальная энергия тела ***m2*** не меняется; ***m12******2***  ***m22******2*** – сумма

кинетических энергий тел в конце движения. Очевидно, что высота падения тела ***m1*** равна пути, пройденному телом ***m2*** , т.е. ***H*** =***l*** . Скорость в конце пути

определяется из формул (8):  ***2l*** .

***t***

Следует отметить, что работа сил сопротивления по модулю равна работе против сил сопротивления.

В результате получаем

|  |
| --- |
| ***l 2***  ***Асопр***  ***m1g***  ***l***  ***2***  ***m1***  ***m2*** ***.***   ***t***  |

(12)

С другой стороны, работа против силы трения равна

***Атр***  ***Fтр*** ***l*** . (13)

***Задание 1.*** *Определение силы трения качения и коэффициента трения качения.*

1. Занести в табл. 1 массы грузов ***m1*** и ***m2*** , а также путь ***l*** (по заданию преподавателя).
2. Определить время движения системы ***t*** . Опыт повторить 5 раз. Результаты занести в табл. 1.
3. Выполнить статистическую обработку времени по методу Стьюдента (табл. 1, 2). Занести в табл. 2 доверительную вероятность () по заданию преподавателя, коэффициент Стьюдента ***t(n,******)*** и погрешность секундомера (***tПР*** ).

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***m1*** = ***m2*** = ***l*** = | | | | | | |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ***t*** |
| ***t*** , ***с*** |  |  |  |  |  |  |
|  ***t***, ***с*** |  |  |  |  |  |  |
| **(** ***t*)2, *с2*** |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Sn t*, |  | ***t*(*n*,****)** |  ***tСЛ*** | ***tПР*** | ***tДОВ*** | ***t*** |
| ***с*** | **-** | **–** | ***с*** | ***с*** | ***с*** | **%** |
|  |  |  |  |  |  |  |

Рассчитать среднюю квадратическую погрешность по формуле:

***n***

***ti*** ***2 Sn,t***  ***i=1n(n - 1) ,***

где ***ti*** – абсолютная погрешность каждого измерения; ***n*** – число измерений;

***tСЛ***  ***t(******,n)******Sn,t*** . Абсолютная погрешность измерений:

***tДОВ***  ***(******tСЛ )2*** ***(******tПР )2*** .

Относительная погрешность:

***tДОВ***

 ***t*** ***100%***.

***t***

1. Определить для среднего значения времени силу трения по формуле (10). Занести результат в табл. 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Fтр*** |  ***Fтр*** | ***Fтр*** |  |  |  |
| ***Н*** | - | ***Н*** | ***м*** | - | ***м*** |
|  |  |  |  |  |  |

1. Вычислить относительную погрешность по формуле: ***g t ( t*** ***m1***  ***2m1******tДОВ )*** ***2(l******m2***  ***m2******l )*** ***tДОВ***

 ***Fтр***  ***2***  ***2 ,***

***t m1g***  ***2l*** ***m2 t***

где ***l***  ***0,001 м***;***m1***  ***m2***  ***0,0005 кг*** .

1. Вычислить абсолютную погрешность по формуле:

 ***Fтр***   ***Fтр*** ***Fтр .***

1. Результат представить в виде:

***Fтр***  ***Fтр*** ***Fтр .***

1. По формуле (3) вычислить коэффициент трения, учитывая, что ***R*** =1,8 см. Результат занести в табл. 3.
2. Вычислить относительную и абсолютную погрешности по формулам:

***Fтр***  ***R***  ***m2 ,*** ***=******.******.*** ,

***R m2***

где ***R***  ***0,05 см***.

1. Результат представить в виде:

 ***.***

***Задание 2.*** *Определение работы силы трения качения.*

1. Рассчитать работу сил сопротивления ***Асопр*** по формуле (12), подставляя ***t*** – среднее время из табл. 1.
2. Рассчитать работу силы трения ***Атр*** по формуле (13) .
3. Сравнить ***Асопр*** и ***Атр*** .
4. Сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Ньютона.
2. Что называется массой тела?
3. Что называется силой?
4. Как производится сложение сил?
5. Что называется силой сопротивления?
6. Что называется силой трения? Как она направлена?
7. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
8. Что называется потенциальной и кинетической энергией.
9. Как определить механическую работу?

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

### Обработка результатов измерений по методу Стьюдента

1. Найти среднее арифметическое значение времени по формуле ***t***  ***t*1**  ***t*2**  **...** ***tn*** , ***n***

где ***n*** – число измерений.

1. Найти абсолютные погрешности каждого измерения по формулам:

 ***t*1**  ***t***  ***t*1** ; ***t*2**  ***t***  ***t*2** и т.д.

1. Возвести в квадрат каждое значение ***t*** .
2. Вычислить ***Sn*,*t*** по формуле:

***n***

***ti***  ***2***

***Sn,t***  ***i******1*** .

***n(n*** ***1)***

1. Задать доверительную вероятность  по заданию преподавателя (обычно  **0,95**).
2. По таблице найти коэффициент Стьюдента ***t*(*n*,****)** для данного числа измерений ***n*** и вероятности .
3. Найти  ***tСЛ*** по формуле: ***tСЛ***  ***t(******,n)*** ***Sn,t*** .
4. Найти доверительную погрешность ***tДОВ*** по формуле:

***tДОВ***  ***(******tСЛ )2*** ***(******tПР )2*** ,

помня, что абсолютная погрешность **округляется до первой значащей цифры.**

1. Определить относительную погрешность ***t*** по формуле: ***t ДОВ***

***t*** ***100%***.

***t***

1. Окончательный результат представить в виде:

### *t*  *t* *tДОВ , с* . Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1 / И.В. Савельев. – М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимов. – М.: Высш. шк., 2015.

### Содержание

Краткая теория………………………………………………………. 3

Лабораторная работа М2. Определение моментов инерции тел

на приборе Обербека………………………………………………… 5

Лабораторная работа М3. Определение зависимости момента инерции системы от распределения массы относительно оси

вращения……………………………………………………………… 9

Лабораторная работа М4. Определение ускорения свободного

падения на машине Атвуда………………………………………… 13

Лабораторная работа М5. Изучение динамики вращательного движения с помощью маятника Максвелла………………………… 19

Лабораторная работа М6. Определение момента сил трения и момента инерции махового колеса………………………………….. 24

Лабораторная работа М8. Определение силы трения

качения………………………………………………………………… 30

Приложение…………………………………………………………… 34