

МОМЕНТ ИНЕРЦИИ

Цель работы: определить коэффициент упругости спиральной пружины; определить момент инерции тел методом крутильных колебаний; определить момент инерции тел с использованием эталонного образца.

Приборы и принадлежности: лабораторная установка «Момент инерции»; секундомер; линейка; транспортир; динамометр; комплект геометрических тел (полый цилиндр, сплошной цилиндр, шар, подвижные грузы на стержнях).

Объект измерений: геометрические размеры тел; периоды колебаний; расстояние грузов на стержнях от оси вращения; сила упругости; угол отклонения стержня при закручивании пружины.

Средства измерений: электронный секундомер; линейка; транспортир; динамометр.

Теоретическая часть

Момент инерции твердого тела J – физическая величина, характеризующая массу тела и характер ее распределения относительно оси вращения. В СИ единица измерения момента инерции – $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Для материальной точки момент инерции определяют как произведение массы точки на квадрат расстояния до оси вращения:

$$J_i = m_i \cdot r_i^2. \quad (1)$$

Для абсолютно твердого тела момент инерции определяют как сумму моментов инерции всех точек, составляющих данное тело:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2. \quad (2)$$

В физике существуют теоретические и экспериментальные методы определения момента инерции. Выбор метода зависит от свойств исследуемого тела, требуемой точности и условий эксперимента.

1. Теоретические методы.

1.1. Для простых тел правильной геометрической формы моменты инерции рассчитывают по формулам.

Тело разбивается на большое число мелких частей объемом dV , предполагая, что плотность ρ каждого такого объема постоянна. В этом случае распределение массы бесконечно малой величины можно представить таким образом:

$$dm = \rho \cdot dV. \quad (3)$$

Далее, определяют момент инерции объема dV :

$$dJ = \rho \cdot dV \cdot r^2. \quad (4)$$

Для сплошного тела момент инерции с учетом (4) определяют как интегральную характеристику:

$$J = \int dJ = \rho \int r^2 \cdot dV. \quad (5)$$

Пример. Вычисление момента инерции сплошного цилиндра относительно оси, проходящей через центр масс. Радиус R , высота h и масса m цилиндра – заданы.

Разобьём сплошной цилиндр на тонкие кольцевые слои толщиной dr и высотой h . Слой находится на расстоянии r от оси вращения, рис. 1. Определим объем такого слоя геометрически:

$$dV = 2\pi r \cdot dr \cdot h. \quad (6)$$

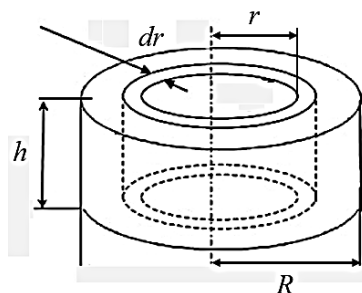


Рис. 1. К выводу формулы момента инерции диска

С учетом формул (4) и (5), получаем:

$$J = \int dJ = 2\pi\rho h \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi\rho h R^4}{2}. \quad (7)$$

Объем цилиндра определяют геометрически как произведение площади основания $S_{\text{осн}}$ на высоту h :

$$V = S_{\text{осн}} \cdot h = \pi R^2 \cdot h. \quad (8)$$

С учетом формулы (3) массу определяют следующим образом:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi R^2 \cdot h. \quad (9)$$

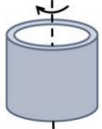
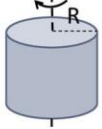
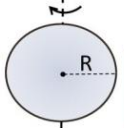
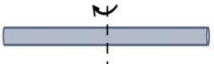
С учетом (9) формулу (7) преобразуют к виду:

$$J = \frac{(\rho \cdot \pi R^2 \cdot h) \cdot R^2}{2} = \frac{m R^2}{2}. \quad (10)$$

Примеры моментов инерции для простых тел правильной формы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Моменты инерции тел правильной формы

Полый цилиндр		$J_{\text{пц}}^T = m_{\text{пц}} R_{\text{пц}}^2$
Сплошной Цилиндр (эталон)		$J_{\text{эц}} = \frac{m_{\text{эц}} R_{\text{эц}}^2}{2}$
Шар		$J_{\text{ш}}^T = \frac{2m_{\text{ш}} R_{\text{ш}}^2}{5}$
Стержень		$J_c = \frac{m_c l^2}{12}$

1.2. Для сложных тел общий момент инерции вычисляют как сумму моментов инерции отдельных частей относительно той же оси.

1.3. Если ось вращения параллельна оси, проходящей через центр масс тела, то применяют теорему Штейнера – момент инерции относительно данной оси J , равен сумме момента инерции, относительно оси, проходящей через центр масс J_0 и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями:

$$J = J_0 + ma^2. \quad (11)$$

2. Экспериментальные методы.

2.1. Метод крутильных колебаний. Тело подвешивают на вертикальной или спиральной пружине, изучают период колебаний и вычисляют момент инерции по формуле: $J = kT^2$, где k – коэффициент упругости пружины, T – период колебаний.

2.2. Метод физического маятника. Если исследуемое тело можно рассматривать как физический маятник, его момент инерции определяют через период колебаний и расстояние до центра подвеса.

2.3. Метод вращения тела. Тело раскручивают до некоторой угловой скорости, а затем предоставляют вращаться по инерции. Измеряя моменты сил трения и потери кинетической энергии, определяют исходный момент инерции тела.

Метод крутильных колебаний. В данной работе определение момента инерции основано на применении метода крутильных колебаний.



Рис. 2. К описанию крутильных колебаний

Если пружинный маятник вывести из положения равновесия, то возникают крутильные механические колебания, рис. 2. Описать такое движение можно на основе закона динамики вращательного движения, в проекции на некоторую ось z :

$$M_z = J_z \cdot \varepsilon, \quad (12)$$

где M_z – момент внешних сил, приложенных к телу (в данной работе момент внешних сил создается спиральной пружиной); J_z – момент инерции тела относительно той же оси; ε – угловое ускорение тела.

Уравнение (12) является аналогом закона динамики поступательного движения (второго закон Ньютона) твердого тела. При поступательном движении твердого тела вдоль оси x получаем:

$$F_x = m \cdot a. \quad (13)$$

Сравнивая уравнения (12) и (13), отметим, что момент инерции J_z играет роль массы, т.е. является мерой инертности тела, как и масса, но при вращении.

Из экспериментов известно, что в области упругих деформаций кручения пружины выполняется следующее соотношение:

$$M_z = -k \cdot \varphi, \quad (14)$$

где φ – угол поворота (закручивания) спиральной пружины, k – коэффициент упругости пружины.

Приравняем уравнения (12) и (14) и представим угловое ускорение ε как вторую производную от угла поворота по времени, в итоге получаем уравнение, которое описывает крутильные механические колебания:

$$-k \cdot \varphi = J_z \frac{d^2 \varphi}{dt^2}. \quad (15)$$

Приведем уравнение (15) к стандартному виду. Для этого все слагаемые перенесем в левую часть, избавимся от сомножителей перед второй производной, и введем обозначение собственной частоты колебаний перед переменной (угол поворота) в нулевой степени. В итоге получаем:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \varphi = 0, \quad (16)$$

где ω_0 – угловая частота собственных (свободных) незатухающих

крутильных колебаний, равная:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{J_z}}. \quad (17)$$

Таким образом, измеряя частоту колебаний ω_0 (или период T) и зная k , можно определить из эксперимента момент инерции тела, совершающего крутильные колебания по формуле:

$$J_z = \frac{k}{\omega_0^2} = \frac{kT^2}{4\pi^2}, \quad (18)$$

где T – период колебаний, который связан с собственной частотой следующим уравнением:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J_z}{k}}. \quad (19)$$

Момент инерции в уравнениях (12-19) – это суммарный момент, который включает в себя все тела, входящие в лабораторную установку. Из рис. 2 видно, что установка содержит стержень, длиной l , два груза, массами $m_{\text{гр}}$, насаженные по обе стороны стержня на одинаковом расстоянии a от оси вращения и некоторое физическое тело с неизвестным моментом инерции J_x .

Введем обозначение момент инерции установки:

$$J_{\text{уст}} = J_c + 2m_{\text{гр}}a^2 + 2J_{\text{гр}}, \quad (20)$$

где J_c – момент инерции стержня, $J_{\text{гр}}$ – момент инерции грузов на стержне, который вычисляется по формуле:

$$J_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{гр}} \cdot l_{\text{гр}}^2}{12} + \frac{m_{\text{гр}}(R_1^2 + R_2^2)}{4}, \quad (21)$$

где $l_{\text{гр}}$ – длина груза (высота цилиндра), R_1 и R_2 – внешний и внутренний радиусы отверстий в цилиндрическом грузе.

Таким образом, суммарный момент инерции установки и физического тела с неизвестным моментом инерции:

$$J_z = (J_c + 2m_{\text{гр}}a^2 + 2J_{\text{гр}}) + J_x = J_{\text{уст}} + J_x, \quad (22)$$

Уравнение (19) с учетом (22) для образца с неизвестным моментом инерции:

$$T_x = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J_{уст} + J_x}{k}}. \quad (23)$$

Из уравнения (23) получаем формулу для вычисления неизвестного момента инерции тела методом крутильных колебаний:

$$J_x = \frac{T_x^2 \cdot k}{4\pi^2} - J_{уст}, \quad (24)$$

где T_x – период колебаний тела с неизвестным моментом инерции.

Все экспериментальные методы дают лишь приближённые значения моментов инерции из-за погрешностей измерений и неучтенных эффектов. Для повышения точности часто проводят серию измерений и усредняют результаты или применяют эталонные образцы.

Определение момента инерции тел с использованием эталонного образца. В качестве эталона выбран сплошной цилиндр. Зная его геометрические размеры и массу, можно вычислить момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс – $J_{эц}$.

С помощью лабораторной установки можно определить период колебаний эталонного образца. С учетом уравнений (19) и (22), получаем:

$$T_{эц} = 2\pi \sqrt{\frac{J_{уст} + J_{эц}}{k}}. \quad (25)$$

Разделим уравнение (23) на (25):

$$\frac{T_x}{T_{эц}} = \sqrt{\frac{J_{уст} + J_x}{J_{уст} + J_{эц}}}. \quad (26)$$

Выразим из уравнения (26) неизвестный момент инерции:

$$J_x = \left(\frac{T_x}{T_{эц}}\right)^2 \cdot (J_{уст} + J_{эц}) - J_{уст}. \quad (27)$$

Методика проведения измерений и описание установки

Общий вид лабораторной установки представлен на рис. 3. Установка состоит из механического блока 1, электронного секундомера 2 набора опытных образцов 3 и динамометра 4.

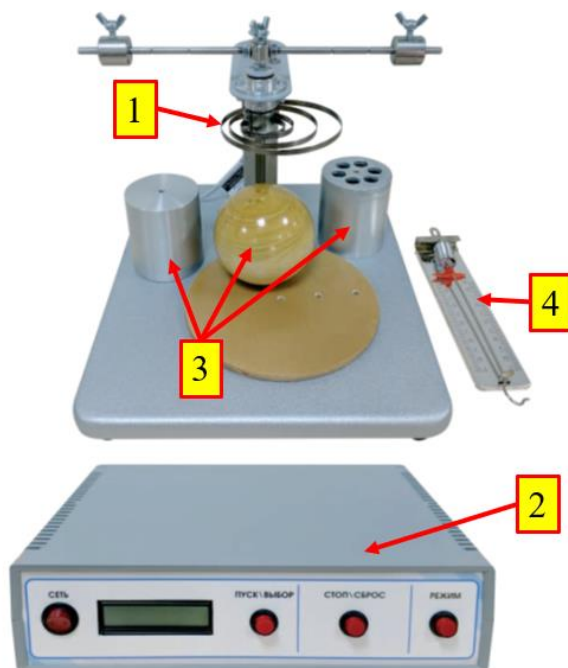


Рис. 3. Общий вид лабораторной установки

Механический блок 1 конструктивно представляет собой основание с закрепленной на нем стойкой, на которой закреплена спиральная пружина и горизонтальный стержень. Ось вращения под действием раскручивающейся пружины. На горизонтальной оси на равном удалении предусмотрено крепление двух грузов одинаковой массы. Грузы на оси фиксируются с помощью барашковых винтов. При проведении экспериментов, исследуемые тела устанавливаются на резьбовой держатель в центре оси вращения.

В целом, механический блок представляет собой маятник со спиральной пружиной, период крутильных колебаний которого

зависит от момента инерции исследуемого тела относительно оси вращения.

Измерения времени колебаний и определение периода. Для определения периода колебаний применяется электронный секундомер 2, панель управления и индикации которого показаны на рис. 4.



Рис. 4. Панель управления электронного секундомера

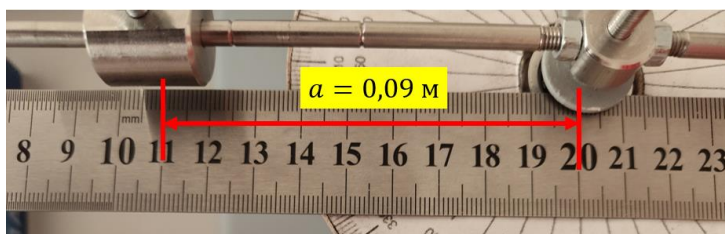
Последовательность работы по определению периода колебаний системы.

1. Включить секундомер – нажать кнопку «СЕТЬ».
2. Последовательными нажатиями на кнопку «РЕЖИМ» выбрать режим работы секундомера «5», и нажать на кнопку «ПУСК\ВЫБОР».
3. Отклонить горизонтальную ось с грузами и исследуемым образцом на угол $(70 \div 80)^{\circ}$. Нажать кнопку «ПУСК\ВЫБОР» и одновременно отпустить горизонтальную ось.
4. Зафиксировать визуально два полных колебания системы и по возвращении системы в исходное состояние нажать кнопку «СТОП\СБРОС». На экране секундомера отображается время t двух полных колебаний.
5. Зафиксировать показания в таблице экспериментальных результатов. Период колебаний определяется как отношение общего времени колебаний к числу колебаний системы n : $T = t/n$. Во всех опытах $n = 2$.
6. Для проведения следующего эксперимента нажать кнопку «СТОП\СБРОС», индикатор показаний времени обнуляется, электронный секундомер готов к новому эксперименту.

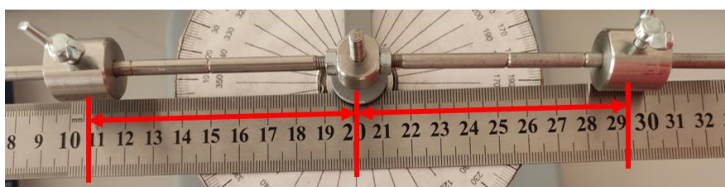
Определение угла закручивания пружины и силы упругости.
Для определения угла закручивания спиральной пружины лабораторную установку дополнили транспортиром. Для определения силы применяют динамометр.

Последовательность работы по определению угла закручивания пружины и силы упругости.

1. Зафиксировать грузы на стрержне на одинаковом расстоянии от оси вращения, рис. 5. Для выполнения экспериментальных заданий установить грузы на расстоянии $a = 9 \text{ см} = 0,09 \text{ м}$ от оси вращения.



а)



б)

Рис. 5. Положение грузов на стрержне

2. Для отсчета угла закручивания пружины необходимо в начальный момент транспортир расположить нулевым делением под левой половиной стрержня, рис. 6.

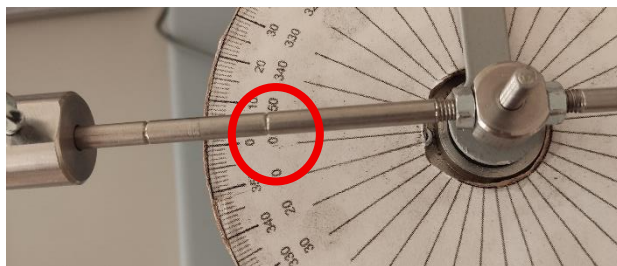


Рис. 6. Начальные условия для измерения угла закручивания

3. Для определения силы упругости зацепить крючком динамометра ось стрежня на расстоянии $r = 7,5$ см от центра. Потянуть за прибор против часовой стрелки, стержень начнет вращаться. По транспортиру добиться поворота механической системы на заданный угол. При этом стрелка, совмещенная с упругой пружиной, будет перемещаться по шкале динамометра. Определить силу упругости, при отклонении системы на заданный угол. При измерении необходимо, чтобы крючок динамометра был расположен перпендикулярно стержню с грузами, рис. 7.

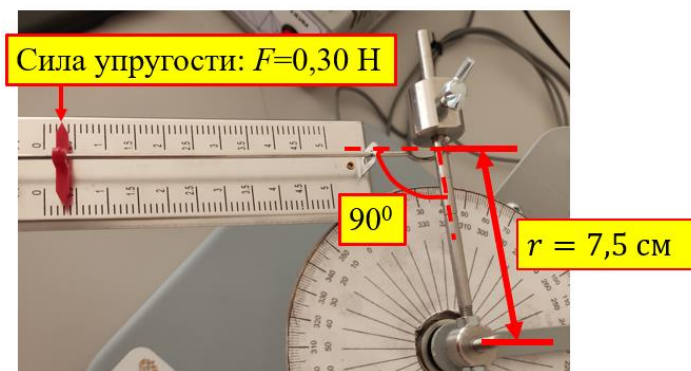


Рис. 7. Измерение силы с помощью динамометра

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение коэффициента упругости спиральной пружины с помощью динамометра.

1.1. Установить грузы на расстоянии $a = 0,09$ м от оси вращения, рис. 5.

1.2. Установить транспортёр на нулевой отчет, рис.6.

Таблица 2

Определение коэффициента упругости

№	$\varphi_i, ^\circ$	$\varphi_i, \text{ рад}$	$F_i, \text{ Н}$	$k_i, \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$
1	320			
2	330			
3	340			
4	350			
5	360			

1.3. Зацепить крючком динамометра ось стрежня на расстоянии $r = 7,5$ см от центра, рис. 7. Определить силу упругости, закручивая пружину на угол $\varphi_1 = 320^\circ$.

1.4. Выполнить пункт 1.3. для других углов закручивания пружины. Зафиксировать все данные в табл. 2.

Задание 2. Определение момента инерции полого цилиндра методом крутильных колебаний.

2.1. Убедиться, что грузы расположены на расстоянии $a = 0,09$ м от оси вращения, рис. 5.

2.2. Установить полый цилиндр в резьбовой держатель в центре оси вращения, рис. 8.

2.3. Отклонить горизонтальную ось на угол $(70 \div 80)^\circ$. Нажать кнопку «ПУСК\ВЫБОР» и одновременно отпустить горизонтальную ось.

2.4. Зафиксировать визуально два ($n = 2$) полных колебания системы и по возвращении системы в исходное состояние нажать кнопку «СТОП\СБРОС». На экране секундомера отображается время t двух полных колебаний.



Рис. 8. Полый цилиндр на оси вращения

2.5. Зафиксировать показания в табл. 3.

2.6. Повторить пункты 2.3-2.5. еще четыре раза. Показания зафиксировать в табл. 3.

Таблица 3

Определение момента инерции полого цилиндра

№	t_i	n	T_i	$\langle T_{\text{пц}} \rangle$
1		2		
2		2		
3		2		
4		2		
5		2		

Задание 3. Определение момента инерции шара методом крутильных колебаний.

3.1. Убедиться, что грузы расположены на расстоянии $a=0,09$ м от оси вращения, рис. 5.

3.2. Установить шар в резьбовой держатель в центре оси вращения, рис. 9.

3.3. Отклонить горизонтальную ось на угол $(70 \div 80)^\circ$. Нажать кнопку «ПУСК\ВЫБОР» и одновременно отпустить горизонтальную ось.

3.4. Зафиксировать визуально два ($n = 2$) полных колебания системы и по возвращении системы в исходное состояние нажать кнопку «СТОП/СБРОС». На экране секундомера отображается время t двух полных колебаний.

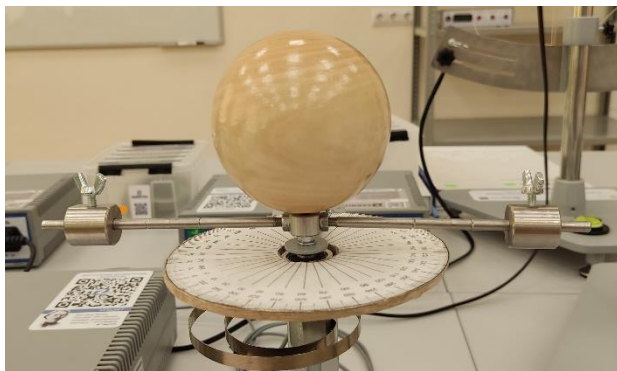


Рис. 9. Шар на оси вращения

3.5. Зафиксировать показания в табл. 4.

3.6. Повторить пункт 3.3-3.5. еще четыре раза. Показания зафиксировать в табл. 4.

Таблица 4

Определение момента инерции шара

№	t_i	n	T_i	$\langle T_{\text{ш}} \rangle$
1		2		
2		2		
3		2		
4		2		
5		2		

Задание 4. Определение момента инерции полого цилиндра с использованием эталонного образца (сплошной цилиндр).

4.1. Убедиться, что грузы расположены на расстоянии $a = 0,09$ м от оси вращения, рис. 5.

4.2. Установить сплошной цилиндр (эталонный образец) в резьбовой держатель в центре оси вращения, рис. 10.

4.3. Отклонить горизонтальную ось на угол $(70 \div 80)^\circ$. Нажать кнопку «ПУСК\ВЫБОР» и одновременно отпустить горизонтальную ось.

4.4. Зафиксировать визуально два ($n = 2$) полных колебания системы и по возвращении системы в исходное состояние нажать кнопку «СТОП\СБРОС». На экране секундомера отображается время t двух полных колебаний.

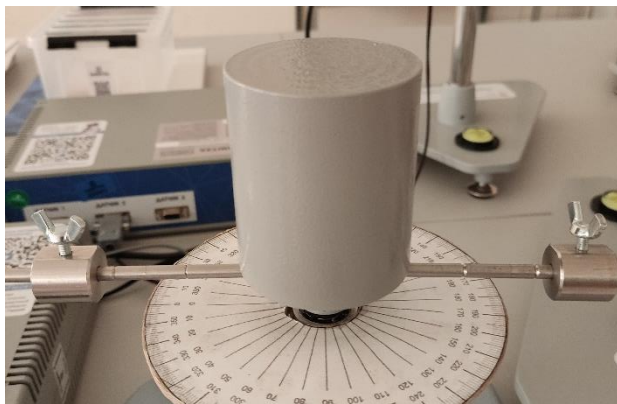


Рис. 10. Сплошной цилиндр на оси вращения

4.5. Зафиксировать показания в табл. 5.

4.6. Повторить пункт 4.3-4.5. еще четыре раза. Показания зафиксировать в табл. 5.

Таблица 5

Определение момента инерции сплошного цилиндра

№	t_i	n	T_i	$\langle T_{\text{эц}} \rangle$
1		2		
2		2		
3		2		
4		2		
5		2		

Обработка результатов измерений

1. Математические вычисления.

1.1. Вычислите момент инерции установки $J_{\text{уст}}$ по формуле (20), используя технические параметры установки. Момент инерции грузов $J_{\text{гр}}$ на стержне вычисляется по формуле (21). Формула для момента инерции стержня J_c приведена в табл. 1.

Расчет момента инерции приведите в следующем формате:
 $x, xx \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Технические параметры установки:

Полый цилиндр:

$$m_{\text{пц}} = 0,1511 \text{ кг}$$

$$R_{\text{пц}} = 0,03 \text{ м}$$

Сплошной цилиндр (эталонный образец):

$$m_{\text{эц}} = 0,5334 \text{ кг}$$

$$R_{\text{эц}} = 0,03 \text{ м}$$

Шар:

$$m_{\text{ш}} = 0,5334 \text{ кг}$$

$$R_{\text{ш}} = 0,045 \text{ м}$$

Стержень:

$$m_c = 0,027 \text{ кг}$$

$$l = 0,24 \text{ м}$$

Грузы на стержне:

$$m_{\text{гр}} = 0,031 \text{ кг}$$

$$R_1 = 0,0025 \text{ м}$$

$$R_2 = 0,01 \text{ м}$$

$$l_{\text{гр}} = 0,02 \text{ м}$$

1.2. Вычисление теоретических моментов инерции.

Вычислите теоретические моменты инерции полого цилиндра ($J_{\text{пц}}^T$), шара ($J_{\text{ш}}^T$) и сплошного цилиндра ($J_{\text{эц}}$) по формулам, приведенным в табл. 1.

2. Обработка экспериментальных результатов в таблицах.

Задание 1. Определение коэффициента упругости спиральной пружины с помощью динамометра.

1.1. Переведите значение угла закручивания пружины из «градусов» в «радианы» с точностью до тысячных по формуле:

$$\varphi_i[\text{рад}] = \frac{\varphi_i^0 \cdot 3,14}{180^\circ}. \quad (28)$$

Пример. Величина угла 320° в радианах равна 5,582.

1.2. Вычислите коэффициент упругости спиральной пружины для каждого опыта в формате $x, xxx \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$:

$$k_i = \frac{r \cdot F_i}{\varphi_i[\text{рад}]}. \quad (29)$$

1.3. Определите среднее значение коэффициента упругости как среднее арифметическое:

$$\langle k \rangle = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5}{5}. \quad (30)$$

1.4. Определите среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_{\langle k \rangle} = \sqrt{\frac{1}{5 \cdot (5 - 1)} \cdot \sum_{i=1}^5 (k_i - \langle k \rangle)^2}. \quad (31)$$

1.5. Определите абсолютную погрешность:

$$\Delta k = \sigma_{\langle k \rangle} \cdot t_{p,n}, \quad (32)$$

где $t_{p,n}$ – коэффициент Стьюдента, который определяют при следующих условиях: доверительная вероятность $p = 0,95$; число опытов $n = 5$.

1.6. Определите относительную погрешность:

$$\delta_k = \frac{\Delta k}{\langle k \rangle} \cdot 100\%. \quad (33)$$

1.7. Запишите итоговый результат в стандартном виде:

$$k = \langle k \rangle \pm \Delta k, \text{ ед. изм., при } \delta_k = ___\% \quad (34)$$

Внимание!

Во всех последующих вычислениях используйте полученное значение коэффициента упругости: $k = \langle k \rangle$.

Расчет моментов инерции приводите с точностью до сотых в формате $x, xx \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Задание 2. Определение момента инерции полого цилиндра методом крутильных колебаний.

2.1. Определите период колебаний в каждом опыте.

2.2. Вычислите средний период как среднее арифметическое:

$$\langle T_{\text{пц}} \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{3}.$$

2.3. Вычислите по формуле (24) момент инерции полого цилиндра ($J_x = J_{\text{пц}}$), подставив вместо $T_x = \langle T_{\text{пц}} \rangle$.

2.4. Вычислите степень несовпадения теоретического и экспериментального момента инерции:

$$\delta_{\text{пц}} = \frac{|J_{\text{пц}}^T - J_{\text{пц}}|}{J_{\text{пц}}} \cdot 100\%. \quad (34)$$

Задание 3. Определение момента инерции шара методом крутильных колебаний.

3.1. Определите период колебаний в каждом опыте.

3.2. Вычислите средний период как среднее арифметическое:

$$\langle T_{\text{ш}} \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{3}.$$

3.3. Вычислите по формуле (24) момент инерции шара ($J_x = J_{\text{ш}}$), подставив вместо $T_x = \langle T_{\text{ш}} \rangle$.

3.4. Вычислите степень несовпадения теоретического и экспериментального момента инерции:

$$\delta_{\text{ш}} = \frac{|J_{\text{ш}}^T - J_{\text{ш}}|}{J_{\text{ш}}} \cdot 100\%. \quad (35)$$

Задание 4. Определение момента инерции полого цилиндра с использованием эталонного образца (сплошной цилиндр).

4.1. Определите период колебаний в каждом опыте.

4.2. Вычислите средний период как среднее арифметическое:

$$\langle T_{\text{эц}} \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{3}.$$

4.3. Вычислите по формуле (27) момент инерции полого цилиндра: $J_x = J_{\text{пц,э}}$, $T_x = \langle T_{\text{пц}} \rangle$.

4.4. Вычислите степень несовпадения теоретического и экспериментального момента инерции по методу с использованием эталонного образца:

$$\delta_{\text{пц}_э} = \frac{|J_{\text{пц}}^T - J_{\text{пц}_э}|}{J_{\text{пц}_э}} \cdot 100\%. \quad (34)$$

5. Сформулируйте общие выводы по выполненной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение момента инерции материальной точки. Дайте определение момента инерции твердого тела. От чего зависит момент инерции? Каков физический смысл момента инерции?
2. Объясните, как получают формулы для расчета моментов инерции тел правильной формы. Приведите пример.
3. Получите дифференциальное уравнение колебаний пружинного маятника. Объясните, как на основании уравнения определяют собственную частоту и период колебаний.
4. Объясните, что такое теоретический метод определения момента инерции. Приведите примеры таких методов.
5. Объясните, что такое экспериментальный метод определения момента инерции. Приведите примеры таких методов.
6. Сформулируйте теорему Штейнера. Поясните условия применения этой теоремы.
7. Какие методы определения момента инерции используются в данной работе?
8. Объясните, как определяют период колебаний в экспериментах.
9. Как считывают показания с электронного секундомера? Как определяют приборную погрешность секундомера?
10. Как определяют коэффициент Стюдента при заданных доверительной вероятности и количестве опытов? Приведите пример.

Рекомендуемая литература

1. Физика: конспект лекций по общей физике для студ. спец. ИУИТ, ИСУТЭ, ИЭФ, ИТТОП, ИКБ и вечернего факультета. Ч.1 / С.М. Кокин; МИИТ. Каф. Физика-2.М.: МИИТ, 2010. - 244 с.
<http://library.mii.ru/bookscatalog/upos/03-19701.pdf>
Лекция № 3: вопрос 3.1.2 (стр.44-48); вопрос 3.1.5 (стр.52-53).
2. Физика: учеб. пособие для студ. спец. и напр. ИУИТ, ИТТСУ, ИПСС, ИЭФ, вечернего факультета. Ч.2. Конспект лекций / С. М. Кокин, В. А. Никитенко; МИИТ. Каф. Физика.М.: МИИТ, 2013. - 178 с.
<http://library.mii.ru/bookscatalog/upos/14-47.pdf>
Лекция № 1: вопрос 1.1 (стр. 4); вопрос 1.2 (стр. 6).
3. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие для вуза: в 5 томах / И. В. Савельев. — 6-е изд. стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — Т. 1: Механика. - 340 с.
https://vk.com/doc16214643_672374826?hash=zki0JriRZ6cMFQ1QwGSR3NxXFg1nyuL03JtxO4vbpSL&dl=L5wABmEzxTASKehhgHcM8OdB0ThL5OjCkvuAbEXWa4w&api=1&no_preview=1
§ 5.3 (стр.157-164); § 5.4 (стр.164-169); § 5.8 (стр.183-190).