ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Лабораторная работа 4

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Вращательное движение - одно из самых распространенных видов движения в современной технике. Настоящая работа посвящена экспериментальному ознакомлению с законом динамики вращательного движения твердого тела и включает в себя определение опытным путем основных параметров вращательного движения маятника Обербека, в том числе момента инерции маятника.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Вращательное движение твердого тела

Вращение твердого тела может осуществляться вокруг неподвижной оси или вокруг точки. Вращательное движение вокруг неподвижной оси - это движение твердого тела, при котором все его точки, двигаясь в параллельных плоскостях, описывают окружности с центрами, лежащими на одной неподвижной прямой, называемой осью вращения. При этом все точки тела за данный промежуток времени поворачиваются на один и тот же угол. Тело, совершающее вращательное движение вокруг неподвижной оси (простое вращательное движение), имеет одну степень свободы, и его положение определяется углом поворота $\boldsymbol{\varphi}$, а угловое перемещение - $\boldsymbol{\Delta\varphi}$ или $\boldsymbol{d\varphi}$.

Вращательное движение задается уравнением $\boldsymbol{\varphi = \varphi(t)}$.

Тело, совершающее вращательное движение вокруг одной неподвижной точки (например, движение гироскопа), имеет три степени свободы.

1.2. Основные кинематические характеристики

Основные кинематические характеристики вращательного движения тела - угловое перемещение $\Delta\varphi$ или $d\varphi$, угловая скорость $\boldsymbol{\omega}$ и угловое ускорение $\boldsymbol{\varepsilon}$. Векторы $d\vec{\omega}, \vec{\omega}, \vec{\varepsilon}$ - это псевдовекторы или аксиальные векторы, не имеющие определенную точку приложения: они откладываются на оси вращения из любой ее точки.

Угловое перемещение — это псевдовектор, модуль которого равен углу поворота $\Delta\varphi$, а направление совпадает с осью, вокруг которой тело поворачивается, и определяется правилом правого винта: вектор $d\vec{\varphi}$ направлен в ту сторону, откуда поворот тела виден против хода часовой стрелки (рис. 1). В системе СИ угол поворота измеряется в радианах (рад).

Угловой скоростью называется величина, характеризующая быстроту вращения твердого тела, равная отношению элементарного угла поворота $\boldsymbol{d\varphi}$ к промежутку времени $\boldsymbol{dt}$, за который произошел этот поворот, или первой производной угла поворота по времени.

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}\,. \qquad (1)$$

Вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ направлен вдоль оси вращения по правилу правого винта, т. е. так же, как и вектор $d\vec{\varphi}$ (рис. 1). Единица измерения угловой скорости - рад/с.

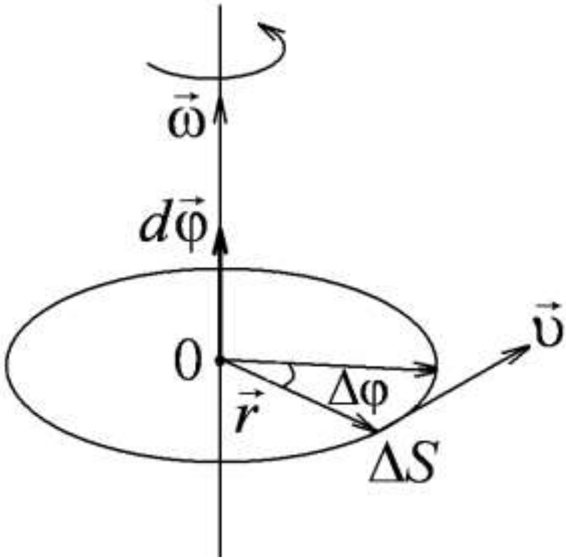

Рис. 1

Угловое ускорение - это величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости. При вращении тела вокруг неподвижной оси угловое ускорение определяется первой производной угловой скорости по времени.

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2}\,. \qquad (2)$$

Вектор углового ускорения $\vec{\varepsilon}$ направлен вдоль оси вращения в сторону вектора $\vec{\omega}$ при ускоренном вращении ($\vec{\varepsilon} \uparrow\uparrow \vec{\omega}$) и противоположно вектору $\vec{\omega}$ - при замедленном вращении ($\vec{\varepsilon} \downarrow\uparrow \vec{\omega}$). Единица измерения углового ускорения - рад/с^2.

Зная угловое ускорение ε, начальное значение угловой скорости ω_0 и начальное положение тела φ_0**,** можно полностью описать вращение тела.

$$\omega(t) = \omega_0 \pm \int_0^t \varepsilon dt\,, \varphi(t) = \varphi_0 \pm \int_0^t \omega dt\,. \qquad (3)$$

При постоянном значении углового ускорения $\varepsilon = const$ тело совершает **равнопеременное** вращательное движение.

$$\omega(t) = \omega_0 \pm \varepsilon t, \varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}\,. \qquad (4)$$

Вращение с постоянной угловой скоростью называется ***равномерным.*** Равномерное вращение можно характеризовать периодом вращения Т. Это время $\Delta \boldsymbol{t} = \boldsymbol{T}$**,** за которое тело совершает один полный оборот, т. е. поворачивается на угол $\Delta\varphi = 2\pi$ радиан. Значит,

$$\omega = \frac{2\pi}{T}\,. \qquad (5)$$

или

$$T = \frac{2\pi}{\omega}\,. \qquad (6)$$

Число оборотов в единицу времени называется частотой вращения

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}\,. \qquad (7)$$

Откуда угловая скорость

$$\omega = 2\pi\nu\,. \qquad (8)$$

Между угловыми величинами, характеризующими вращательное движение, и линейными параметрами, определяющими движение отдельных точек вращающегося тела, существует связь. Так, отдельные точки вращающегося тела имеют различные линейные скорости $\vec{v}$ **.** Вектор линейной скорости непрерывно меняет свое направление, а величина скорости ν зависит от скорости вращения тела ω и расстояния R рассматриваемой точки до оси вращения.

То же относится к линейному пути $\Delta\boldsymbol{S}$, проходимому отдельной точкой при повороте тела на угол Δφ**.** Этот путь равен (рис. 1)

$$\Delta S = R\Delta\varphi\,. \tag{9}$$

Таким образом, линейная скорость ν любой точки тела на расстоянии R от оси вращения связана с угловой скоростью ω выражением, которое получается путем дифференцирования (9) по времени с учетом, что $R = const$ для рассматриваемой точки

$$\boldsymbol{v} = \frac{ds}{dt} = R\frac{d\varphi}{dt} = R\omega\,. \tag{10}$$

Для величин тангенциального ускорения получим соотношение, продифференцировав линейную скорость ν по времени

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon\,. \tag{11}$$

Величина нормального ускорения точек вращающегося тела

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R\,. \tag{12}$$

Из соотношений (9-12) видно, почему именно угловые параметры характеризуют кинематику вращательного движения, поскольку отдельные точки, расположенные на разных расстояниях от оси, имеют одинаковые угловые характеристики, но различные линейные, причем последние линейно растут с увеличением расстояния R точки от оси вращения.

В общем случае вектор линейного ускорения состоит из нормальной $\vec{a}_n$ и тангенциальной $\vec{a}_\tau$ составляющих $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$, причем нормальное ускорение характеризует быстроту изменения направления скорости, а тангенциальное - быстроту изменения величины скорости.

При равномерном движении по окружности тангенциальная составляющая $a_\tau = 0$, так как линейная скорость не изменяется по величине $v = const$**,** а поскольку вектор скорости меняет свое направление, нормальная составляющая отлична от О и равна $a_n =$

$\frac{v^2}{R}$, где R - радиус окружности, а вектор $\vec{a}_n$ направлен к центру окружности перпендикулярно линейной скорости.

1.3. Основные динамические характеристики

Основными динамическими характеристиками простого вращательного движения тела являются ***момент импульса*** тела относительно неподвижной оси *Z*, $L_z = I_z\omega$ и кинетическая энергия $W = \frac{I_z\omega^2}{2}$, где I_z - осевой момент инерции тела относительно оси Z.

При изучении вращения твердых тел вводят понятие ***момента инерции,*** характеризующее инертные свойства тела при вращательном движении. При поступательном движении его аналог - масса тела.

Момент инерции тела - величина, характеризующая распределение массы тела относительно оси вращения.

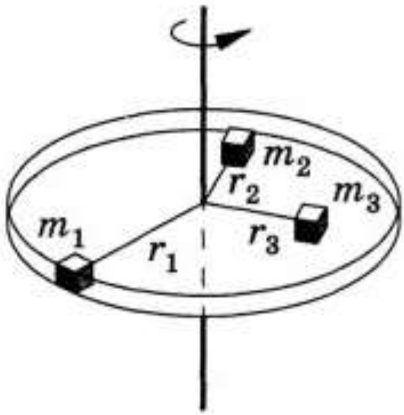

Рис. 2

Осевым моментом инерции тела относительно оси *OZ* называется величина, равная сумме произведений масс всех материальных точек на квадраты их кратчайших расстояний до рассматриваемой оси. Суммирование производится по всем элементарным массам m_i, на которые разбивается тело (рис. 2).

$$I_z = \sum_{i}^{n} m_i r_i^2 , \tag{13}$$

где r_i - кратчайшие расстояния точек от оси OZ.

Для однородных тел

$$I_z = \rho \int_{v} r^2 \, dV , \tag{14}$$

где $\boldsymbol{\rho}$ - плотность тела, интегрирование ведется по всему объему тела V.

Размерность момента инерции в системе СИ - кг•м^2.

Таким образом, осевой момент инерции тела зависит от массы тела, ее распределения относительно оси вращения и от выбора оси вращения. Наиболее просто момент инерции определяется для однородных и симметричных тел вращения, поскольку сводится к вычислению интегралов типа (14).

Для тел произвольной формы - это сложная математическая задача, часто не решаемая, поэтому в этих случаях момент инерции определяется экспериментально. Выражение (14) позволяет достаточно легко рассчитать моменты инерции некоторых однородных и симметричных тел массы m относительно оси, проходящей через центр инерции тела.

Приведем формулы для моментов инерции тел правильной геометрической формы.

1. Тонкое кольцо (или полый тонкостенный цилиндр) радиуса R. Ось вращения перпендикулярна плоскости кольца (торцам цилиндра).

$$I = mR^{\mathbf{2}} .$$

2. Сплошной диск (цилиндр) радиуса R, ось вращения перпендикулярна плоскости диска (торцам цилиндра).

$$I = \frac{1}{2} mR^{\mathbf{2}} .$$

3. Тонкий стержень длины l, ось проходит через середину стержня и перпендикулярна его длине.

$$I = \frac{1}{12} ml^2 \, .$$

4. Однородный шар радиуса R**,** ось проходит через центр шара.

$$I = \frac{2}{5} mR^2 \, .$$

Момент инерции тела относительно произвольной оси, не проходящей через центр инерции тела, определяется с помощью ***теоремы Штейнера:*** момент инерции тела I относительно любой оси вращения равен моменту его инерции I_c относительно параллельной оси, проходящей через центр масс C тела, плюс произведение массы тела на квадрат расстояния d между этими осями (рис. 3)

$$I_C = I + md^2 \, . \tag{15}$$

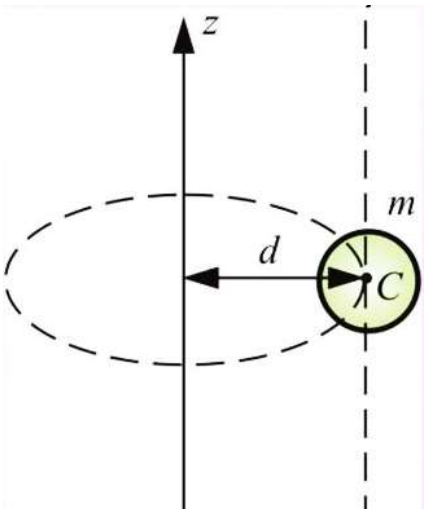

Рис. 3

Например, момент инерции тонкого однородного стержня длины l относительно оси, проходящей через конец стержня перпендикулярно его длине, по теореме Штейнера определяется выражением

$$I = \frac{1}{12} ml^2 + m\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} ml^2 \, . \tag{16}$$

Основная мера взаимодействия тел в механике - это сила. ***Момент силы*** - это величина, характеризующая вращательный эффект силы при ее действии на твердое тело.

Момент силы (или вращающий момент) $\vec{M}$ относительно фиксированной оси z - это векторная величина, определяемая выражением

$$\vec{M} = [\vec{r}\vec{F}], \qquad (17)$$

где $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный от оси вращения z (перпендикулярно ей) в точку A приложения силы $\vec{F}$. Вектор силы $\vec{F}$ лежит в плоскости, перпендикулярной оси z (рис. 4).

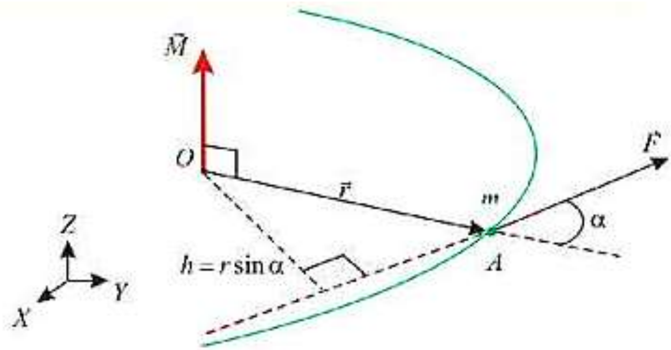

Рис. 4

Вектор момента силы $\vec{M}$ совпадает с осью z**,** а его направление определяется правилом правого винта (п. 1.2). Модуль момента силы

$$M = Fr\sin\alpha = Fd, \qquad (18)$$

где α - угол между векторами $\vec{r}$ и $\vec{F}$ или их продолжениями, величина $d = r\sin\alpha$ - кратчайшее расстояние от точки O до линии действия силы F**,** называется ***плечом силы.***

Из определения момента силы относительно оси следует, что если линия действия силы пересекает ось вращения, она не создает вращающего момента, т. е. $\vec{M} = 0$, поскольку плечо d = 0. Не создают момента также силы, параллельные оси вращения. Единица измерения момента силы - *Н·м*.

Осевой момент импульса твердого тела - это векторная физическая величина, которая определяет, как количество, так и направленность запасенного телом вращательного движения и равна произведению момента инерции тела относительно оси на угловую скорость

$$\vec{L}_z = I_z\vec{\omega}, \tag{19}$$

где I_z - момент инерции тела относительно оси OZ;

$\vec{\omega}$ - угловая скорость вращения;

$\vec{L}_z$ — вектор, имеет то же направление, что и вектор $\vec{\omega}$ - по оси вращения (рис. 5).

Размерность момента импульса в системе СИ : кг•м^2 рад/с.

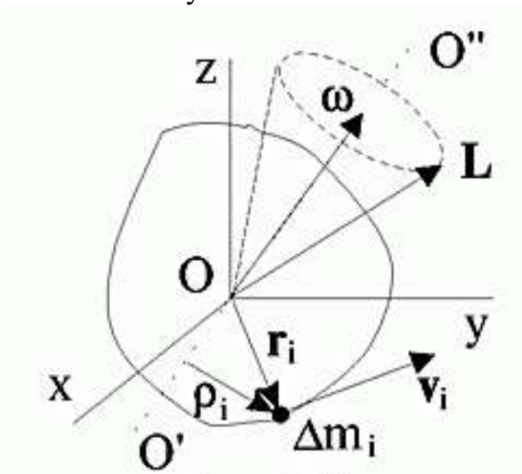

Рис. 5

1.4. Основной закон динамики вращательного движения

Пусть ось вращения проходит через центр инерции тела. Продифференцируем (19) по времени, учитывая, что момент инерции тела остается постоянным в течение времени t, получим

$$\frac{d\vec{L}_z}{dt} = I_z\frac{d\vec{\omega}}{dt} = I_z\vec{\varepsilon} = \vec{M}, \tag{20}$$

т.е.

$$\frac{d\vec{L}_z}{dt} = \vec{M} \text{ или } \vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I}, \tag{21}$$

где $\vec{M}$ - векторная сумма моментов приложенных внешних сил.

Это основное уравнение динамики простого вращательного движения тела относительно оси: изменение момента импульса тела зависит только от момента внешних сил.

1.5. Закон сохранения момента импульса

Сформулируем закон сохранения момента импульса для замкнутой системы тел. Замкнутой системой называется совокупность тел, взаимодействующих только друг с другом и не взаимодействующих с внешними телами, т. е. все внешние силы $\vec{F}_i$, действующие на систему, равны 0, $\vec{F}_i = 0$. Замкнутая система - это идеализация. Для реальных систем эта модель применима для случаев, когда

$$\left|\sum_i \vec{F}_i\right| \ll \left|\sum_j \vec{F}_j\right|,$$

где $\vec{F}_j$ характеризует взаимодействие внутри системы. Для замкнутой системы тел момент внешних сил $\vec{M} = 0$, тогда $\frac{d\vec{L}_z}{dt} = 0$, откуда

$$\vec{L}_z = I_z\vec{\omega} = const\,. \tag{22}$$

Это ***закон сохранения момента импульса-,*** в замкнутой системе момент импульса вращающегося тела не изменяется с течением времени. Если система тел не замкнута, этот закон справедлив, когда суммарный момент внешних сил, действующих на систему, равен 0.

1.6. Кинетическая энергия вращающегося тела

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, проходящей через центр инерции тела

$$T = \frac{I_z \omega^2}{2}\,. \qquad (23)$$

Для тела массы *m*, которое катится по горизонтальной плоскости без скольжения, нужно учитывать энергию поступательного движения тела (движение центра масс со скоростью v_c). В этом случае полная кинетическая энергия тела складывается из кинетической энергии вращения и кинетической энергии поступательного движения центра масс

$$T = \frac{I_z \omega^2}{2} + \frac{m v_c^2}{2}\,. \qquad (24)$$

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Описание лабораторной установки

Вращательное движение в данной работе изучается с помощью крестообразного маховика, называемого маятником Обербека (рис. 6). Маятник состоит из четырех стержней и нескольких шкивов различного радиуса (r_1, r_2), укрепленных на одной горизонтальной оси Z, проходящей через точку O**,** перпендикулярно плоскости рисунка. По стержням могут перемещаться и закрепляться с помощью винтов в нужном положении четыре цилиндра одинаковой массы m_0 . Перемещая цилиндры вдоль стержней, можно менять величину момента инерции маятника I_z. На один из шкивов наматывается нить с грузом m на свободном конце. В работе измеряется время падения $\boldsymbol{t}$ груза m с фиксированной высоты h.

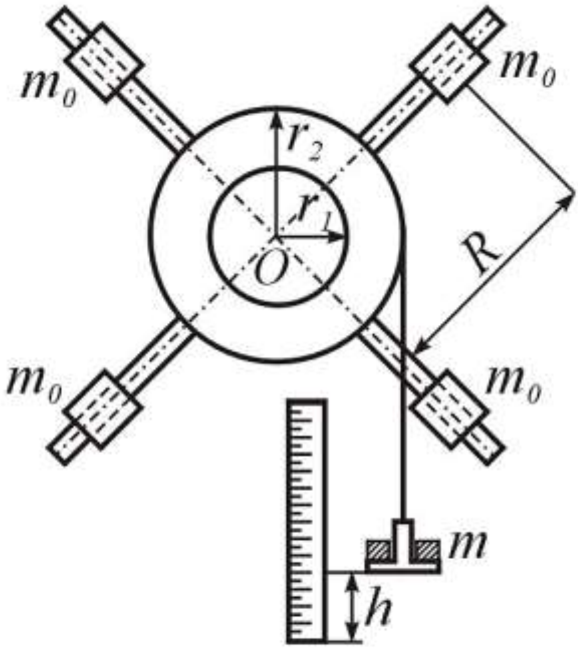

Рис. 6

2.2. Методика измерений

На груз m действуют сила тяжести mg и сила натяжения нити F. Если груз отпустить, он будет опускаться вниз, испытывая сопротивление воздуха, которое можно считать малым по сравнению с другими силами и не учитывать. Уравнение поступательного движения груза m определяется вторым законом Ньютона и в проекции на вертикальную ось, направленную вниз, имеет вид

$$m_0 a = m_0 g - F, \tag{25}$$

где a - линейное ускорение груза;

g - ускорение свободного падения.

Согласно третьему закону Ньютона на маховик действует сила натяжения F**,** равная по величине силе натяжения нити, действующей на груз m.

Момент этой силы относительно горизонтальной оси Z (трением в оси маятника пренебрегаем) $M_z = rF$ приводит маховик во вращение. Здесь r - плечо силы, равное радиусу шкива, на который намотана нить. Используя разные шкивы и грузы m**,** можно менять момент силы натяжения нити.

Основной закон динамики вращательного движения маятника относительно оси Z имеет вид

$$I_z \varepsilon = rF\ . \tag{26}$$

Угловое ускорение маховика ε (растяжение нити мало и нить не проскальзывает по шкиву) связано с линейным ускорением a груза m.

$$a = \varepsilon \cdot r\ . \tag{27}$$

Ускорение падения (груза a можно определить экспериментально, измерив высоту падения h**,** время падения $\boldsymbol{t}$ и учитывая, что тело m движется равноускорено без начальной скорости.

$$a = \frac{2h}{t^2}\ . \tag{28}$$

Решая систему уравнений (25-28), определим значение момента инерции маятника Обербека.

$$I = m_0 r^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right). \qquad (29)$$

В лабораторной установке для h ≈ 1 – 2м, ***t* ≈** 10 - 20с, значение $\frac{gt^2}{2h} \gg 1$, поэтому в формуле (29) можно пренебречь вторым слагаемым и рассчитывать значение момента инерции по приближенной формуле

$$I_z = \frac{m_0 r^2 g t^2}{2h}. \qquad (30)$$

Таким образом, измерив в опыте величины m_0, r, h и ***t*,** можно вычислить момент инерции маятника Обербека по формуле (30).

Момент импульса маятника $L_z = I_z \omega$, где $\omega = \varepsilon t = \frac{2h}{tr}$. Окончательно

$$L_z = \frac{2 I_z h}{tr}. \qquad (31)$$

Кинетическая энергия вращающегося маятника

$$T = \frac{I_z \omega^2}{2} = \frac{2 I_z h^2}{t^2 r^2}. \qquad (32)$$

2.3. Порядок измерений

Внесите данные о лабораторной установке в табл. 1.

Таблица 1

Приборы	Пределы измерения	Цена деления	Приборная погрешность
Линейка			
Секундомер			
Штангенциркуль			

Упражнение 1

1. Закрепите цилиндры m_i с помощью зажимных винтов на концах стержней.

2. Добейтесь безразличного состояния равновесия маятника. Для этого расположите маятник таким образом, чтобы один

стержень находился в вертикальном положении, а другой - в горизонтальном. Слегка передвигая цилиндры на горизонтальном стержне, закрепив их, добейтесь такого их расположения, при котором маятник не начинает вращаться при выводе его из горизонтального состояния. Поверните маятник на 90° и проделайте такую же операцию с цилиндрами на другом стержне. Измерьте расстояние между центрами цилиндров $D_1 = 2R_1$ и занесите в табл. 2.

3. Подвесьте груз m_0 к нити, намотайте нить на один из шкивов радиуса (например r_1). Штангенциркулем измерьте радиус шкива. Величины массы m_0 и радиуса шкива r занесите в табл. 2.

4. Придерживая крестовину, измерьте линейкой начальную высоту груза над полом h. Измеренную величину h занесите в табл. 2. Начальная высота h остается неизменной для всех измерений.

5. Отпустите крестовину и включите секундомер в момент начала вращения маятника. Остановите секундомер в момент удара груза о пол. Значение времени $\boldsymbol{t}$ занесите в табл. 2. Измерения повторите три раза и занесите в табл. 2.

Упражнение 2

1. Закрепите цилиндры m_i с помощью зажимных винтов на минимальном расстоянии от оси вращения, измерьте расстояние между центрами цилиндров $D_2 = 2R_2$ и занесите в табл. 2.
2. Измерьте три раза время падения груза $\boldsymbol{m_0}$ при новом положении цилиндров m_i на стержнях и занесите в табл. 2.

Значения радиуса шкива *г* и массу груза m_0 оставьте теми же, что и в упражнении 1.

Упражнение 3

1. Закрепите цилиндры m_i на максимальном D_1, или минимальном D_2 расстояниях от оси вращения (по указанию преподавателя).
2. Измените либо массу падающего груза m_0, либо радиус шкива r (по указанию преподавателя).
3. Измерьте три раза время падения груза m_0 до пола. Результаты занесите в табл. 2.

Таблица 2

m = (…±…)кг, r = (…±…)м; m_1 = (…±…) кг, r_1 = (…±…)м

D₁ = (…±…) м				D₂ = (…±…) м			D₃ = (…±…) м		
№	t_1, c	$\bar{t}_1, c$	$\bar{I}_1$, $кг{\cdot}м^2$	t_2, c	$\bar{t}_2, c$	$\bar{I}_2$, $кг{\cdot}м^2$	t_3, c	$\bar{t}_3, c$	$\bar{I}_3$, $кг{\cdot}м^2$
1									
2									
3									

Среднее значение времени $\bar{t}$ вычисляется по формуле

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{n}.$$

2.4. Обработка результатов измерений

1. Во всех трех упражнениях рассчитайте средние значения времени падения груза $\bar{t}_1, \bar{t}_2, \bar{t}_3$.

2. Используя данные таблицы 2 и выражение (30), рассчитайте моменты инерции мятника для первого и второго упражнений по формулам

$$\bar{I}_1 = \frac{m_0 g r^2 \bar{t}_1^2}{2h}, \bar{I}_2 = \frac{m_0 g r^2 \bar{t}_2^2}{2h}. \quad (33)$$

А для третьего – по одной из двух формул в зависимости от того, какой параметр меняется в опыте: масса падающего груза $m_0(I_3)$ или радиус шкива $r(I'_3)$.

$$\bar{I}_3 = \frac{m_1 g r^2 \bar{t}_3^2}{2h}, \overline{I'}_3 = \frac{m_0 g r_1^2 \bar{t}_3^2}{2}. \quad (34)$$

3. Рассчитайте относительную погрешность в определении момента инерции для каждого упражнения по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta m_0}{m_0} + 2\frac{\Delta r}{r} + 2\frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta h}{h}, \quad (35)$$

где $\Delta m_0, \Delta r, \Delta t, \Delta h$ - приборные погрешности для соответствующих величин m_0, r, h, t**.** Округлите относительные погрешности $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ до одной значащей цифры.

4. По полученным значениям $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ рассчитайте величины абсолютных ошибок $\Delta I_1, \Delta I_2, \Delta I_3$ в определении моментов инерции для каждого упражнения

$$\Delta I_1 = \varepsilon_1 \bar{I}_1, \Delta I_2 = \varepsilon_2 \bar{I}_2, \Delta I_3 = \varepsilon_3 \bar{I}_3. \quad (36)$$

Округлите величины абсолютных погрешностей $\Delta I_1, \Delta I_2, \Delta I_3$ до первой значащей цифры, а значения $\Delta \bar{I}_1, \Delta \bar{I}_2, \Delta \bar{I}_3$ до разряда их абсолютных ошибок.

5. Запишите результаты расчетов в виде

$$I = (\bar{I} \pm \Delta I)\text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

6. Используя результаты расчетов моментов инерции в упражнениях 1 и 2, проверьте справедливость теоремы Гюйгенса.

$$I_1 = I_\text{м} + 4I_i + m_i D_1^2$$

$$I_2 = I_\text{м} + 4I_i + m_i D_2^2$$

$$I_1 - I_2 = m_i (D_1^2 - D_2^2), \quad (37)$$

где I_1, I_2 - моменты инерции маятника, рассчитанные по формуле (33), с раздвинутыми и сдвинутыми цилиндрами соответственно;

I_i - момент инерции каждого из цилиндров относительно оси, проходящей через его центр масс параллельно оси вращения;

m_1 - масса цилиндра.

7. По данным табл. 2 и результатам расчета момента инерции в упражнении 1 определите, используя формулы (31) и (32), момент импульса маятника L_z и кинетическую энергию вращения маятника T

$$L_z = \frac{2I_1 h}{t_1 r}. \quad (38)$$

$$T = \frac{2I_1 h^2}{t_1^2 r^2}. \quad (39)$$

КОМПЛЕКТЫ ВОПРОСОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

I комплект

1. Назовите кинематические характеристики вращательного движения, их определения, единицы измерения, связь с аналогичными параметрами поступательного движения.
2. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.
3. Чему равен момент инерции стержня массы ***m***, длины ***l*** относительно оси, проходящей через его конец перпендикулярно стержню?

II комплект

1. Дайте определение вращательного движения.
2. Дайте определение осевого момента инерции, приведите примеры его значений для различных тел.
3. Сформулируйте первый и второй законы Ньютона.

III комплект

1. Дайте определение момента силы, назовите единицы его измерения. Каким образом можно изменить момент силы, не меняя величину силы в данной работе?
2. Сформулируйте теорему Штейнера, приведите примеры ее применения.
3. Что такое момент импульса относительно неподвижной оси? Закон сохранения момента импульса.

IV комплект

1. Как теоретически рассчитать момент инерции маятника Обербека?
2. Назовите динамические характеристики вращательного движения, их определения, единицы измерения.
3. Во сколько раз изменится момент инерции пиара, если ось вращения перенести на расстояние 3***R*** от центра?

V комплект

1. Сопоставьте основные уравнения и динамические параметры для твердого тела, вращающегося относительно неподвижной оси, и поступательного движения материальной точки.
2. Какие физические величины изменятся и как, если радиус шкива увеличить в 2 раза?
3. Угловая скорость, определение, направление.

VI комплект

1. Может ли повлиять выбор большего или меньшего радиуса шкива и высоты ***h*** на момент инерции маятника Обербека? Ответ обоснуйте.
2. Составьте систему уравнений движения маятника Обербека.
3. Момент импульса относительно неподвижной оси, определение, направление. Оцените момент импульса Земли.

VII комплект

1. Вектор углового перемещения, единица измерения, направление.
2. Какие физические величины изменятся и как, если массу ***m*** опускающегося груза увеличить в 2 раза?
3. Основной закон динамики вращательного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1 - М. : Наука, 1987. §27,31,32.
2. Трофимова Т. И. Курс физики. — М. : ACADEMIA, 2006. § 4—6, 16-19.