

Изучение законов вращательного движения твердого тела.

Цель работы: экспериментальная проверка законов вращательного движения и определения момента инерции маятника Обербека.

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, набор грузов, штангенциркуль, линейка, секундомер.

Теория и описание установки.

Вращательным движением твердого тела называется такое движение, при котором все точки тела описывают окружности с центрами на одной прямой, называемой осью вращения.

Вращательное движение характеризуется угловой скоростью вращения ω и угловым ускорением ε , которые определяются по формулам:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad ; \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (1),$$

где φ - угол поворота тела. Угловая скорость равна углу поворота тела за единицу времени, а угловое ускорение - изменению угловой скорости за единицу времени.

Связь между линейной v и угловой ω скоростями, линейным a и угловым ε ускорениями вращающегося тела следующая:

$$v = \omega \cdot r \quad ; \quad a_r = \varepsilon \cdot r \quad (2),$$

где r - расстояние от точки тела до оси вращения.

При вращении тела изменение его движения зависит от действующего на тело момента силы и от момента инерции тела.

Моментом силы M относительно оси называется величина, численно равная произведению силы F на ее плечо l , т.е. на кратчайшее расстояние от оси вращения до прямой, вдоль которой действует сила:

$$M = F \cdot l \quad (3)$$

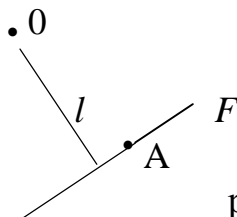


рис.1

Моментом инерции I тела относительно оси называется сумма произведений масс m_i материальных точек тела на квадрат их расстояний до оси вращения:

$$I = \sum_1^n m_i r_i^2 \quad (4)$$

Единицей измерения момента инерции I в системе СИ является $1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Основной закон динамики вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси можно записать в виде:

$$M=I \cdot \varepsilon \quad (5),$$

где M - момент силы, приложенной к телу, I - момент инерции тела, ε - его угловое ускорение.

Вращающееся тело обладает кинетической энергией вращательного движения

$$E_{k \text{ в\ddot{r}}} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (6)$$

Если сопоставить законы поступательного и вращательного движения, то легко видеть, что момент инерции I во вращательном движении выполняет ту же роль, что и масса в поступательном движении, а момент силы M - роль силы. Как масса тела характеризует инертность тела в поступательном движении, так момент инерции характеризует инертность тела во вращательном движении.

Законы вращательного движения можно изучить при помощи прибора (маятник Обербека), изображенного на рис.2.

Прибор состоит из шкива, радиуса r , закрепленного на оси O , четырех стержней, расположенных под углом 90° друг к другу, и четырех одинаковых цилиндрических грузов массой m , которые можно перемещать вдоль стержней и закреплять на определенных расстояниях от оси.

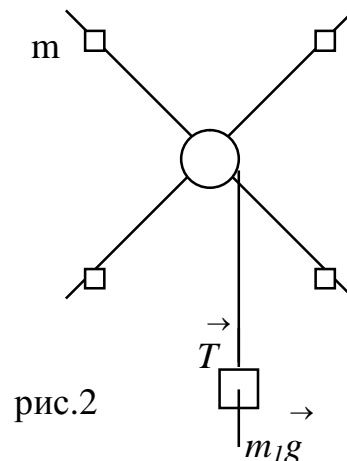


рис.2

Грузы закрепляются симметрично, т.е. так, чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения. Прибор приводится во вращательное движение грузом m_1 , прикрепленным к концу шнура, навитого на шкив. Груз m_1 , удерживаемый на высоте h над какой-либо поверхностью (например пола), обладает некоторой потенциальной энергией $m_1 g h$, где g - ускорение свободного падения, а m_1 - масса груза.

Если предоставить возможность грузу m_1 падать, то это падение будет происходить с ускорением a . При этом шкив со стержнями и расположенными на нем грузами будет вращаться с угловым ускорением ε .

При падении груза m_1 потенциальная энергия соответственно переходит в кинетическую энергию поступательного движения груза $\frac{m_1 v^2}{2}$ и кинетическую энергию вращательного движения подвижной части прибора $\frac{I\omega^2}{2}$, где I - момент инерции прибора относительно оси O .

На основании закона сохранения механической энергии

$$m_1gh = \frac{m_1v^2}{2} + \frac{Iw^2}{2} \quad (7),$$

где v - скорость груза m_1 в момент касания пола, w -угловая скорость вращающейся части прибора.

Сила , под действием которой груз m_1 падает вниз равна:

$$F = P - T, \quad (8),$$

где $P = mg$ - сила тяжести, T - сила натяжения шнура.

Отсюда $T = P - F$

или учитывая , что по 2 закону Ньютона $F = m_1a$ получим:

$$T = m_1g - m_1a = m_1(g - a) \quad (9)$$

Т.к. поступательное движение груза равноускоренное без начальной скорости , то ускорение

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (10)$$

тогда

$$T = m_1(g - a) = m_1\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \quad (11)$$

Сила T сообщает вращающемуся телу угловое ускорение равное:

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{2h}{t^2 r} \quad (12),$$

где r - радиус шкива. Момент этой силы:

$$M = T r = m_1\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) r \quad (13)$$

Из формул (5), (12) и (13) момент инерции прибора равен :

$$I = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{m_1 r^2 t^2 \left(g - \frac{2h}{t^2}\right)}{2h} \quad (14)$$

Для нахождения момента инерции I прибора нужно определить опытным путем все величины стоящие в правой части формулы (14), ускорение свободного падения g известно ($g=9,8 \text{ м/с}^2$).

Измерения и обработка результатов.

1. Штангенциркулем измеряют радиус шкива.
2. Шнур, на конце которого прикреплен груз m_1 , наматывается на шкив и линейкой измеряется высота h над уровнем пола или какой-либо другой поверхности.

3. Предоставив грузу m_1 возможность падать, по секундомеру определяют время падения t . Секундомер включают в момент начала падения груза и останавливают одновременно с ударом груза о поверхность.

4. Опыты провести 3 раза при определенном симметричном расположении цилиндрических грузов на стержнях на одном и том же расстоянии от оси (у шкива и на концах стержней).

5. По формулам (10), (13), (12), и (14) вычисляют линейное ускорение a , вращающий момент M , действующий на систему, ее угловое ускорение ε , момент инерции I .

6. Рассчитать погрешность измерений.

7. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу.

№	r, м	m_1 , кг	h, м	t,с	a, м/с ²	M,Н · м	ε , рад/с ²	I, кг· м ²	$I_{\text{ср}}$, кг· м ²	ΔI , кг· м ²	$\Delta I_{\text{ср}}$, кг· м ²	ε , %
---	---------	---------------	---------	-----	------------------------	------------	---------------------------------------	--------------------------	---	------------------------------------	--	----------------------

Цилиндрические грузы у шкива

1												
2												
3												

Цилиндрические грузы на концах стержней.

1												
2												
3												

Контрольные вопросы.

1. Какое движение называется вращательным?
2. Что называется угловой скоростью и угловым ускорением?
3. Как связаны линейное и угловое ускорения?
4. Как связаны линейная и угловая скорости?
5. Что называется моментом силы?
6. Что называется моментом инерции тела?
7. Запишите основной закон динамики вращательного движения.
8. Запишите закон сохранения энергии для маятника Обербека.

Литература.

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т1, М: Наука, 1989г. стр. 84-110.
2. Грабовский Р.И. Курс физики М: Высшая школа 1980г. стр. 71-76.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Т1, М: Наука, 1969г. стр. 59-70.