

**ПРОВЕРКА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ  
МОМЕНТА ИМПУЛЬСА**

**Оборудование:** прибор для проверки закона сохранения момента импульса, линейка.

**Введение**

Основной закон динамики вращательного движения твердого тела можно сформулировать следующим образом: скорость изменения момента импульса тела равна суммарному моменту всех внешних сил, действующих на тело:

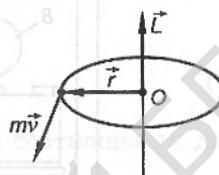


Рис. 1.38

$$dL/dt = M.$$

В этом законе момент импульса тела относительно некоторой оси  $L = I\omega$  является его основной динамической характеристикой. Направление вектора  $L$  совпадает с направлением вектора угловой скорости  $\omega$ . Момент импульса материальной точки массой  $m$ , вращающейся по окружности с линейной скоростью  $v$  (положение точки относительно центра вращения определяется радиусом-вектором  $\vec{r}$ , рис. 1.38),

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{v}],$$

где  $\vec{p} = m\vec{v}$  — импульс этой точки.

В замкнутых механических системах (момент внешних сил  $M = 0$ ) выполняется закон сохранения момента импульса: момент импульса замкнутой системы остается неизменным при любых изменениях внутри системы:  $L = \text{const}$ . Заметим, что кратковременное воздействие также не успевает существенно изменить момент импульса.

**Описание установки и метода**

В работе применяется прибор, подобный регулятору Уатта (рис. 1.39).

Два одинаковых шара 8 прикреплены к концам стержней, соединенных с кольцами 5 и 7, вращающимися вместе с осью 6, которая представляет собой полый цилиндр с

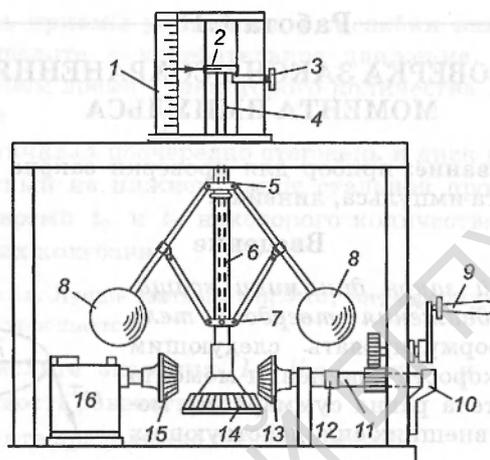


Рис. 1.39

двумя прорезями вдоль образующих. Внутри цилиндра находится ось 4, нижний конец которой соединен с кольцом 7, а верхний — с головкой 2, снабженной стрелочным указателем, который может перемещаться вдоль шкалы 1 с делениями. Кольцо 3 со стопорным винтом ограничивает перемещение головки. Ось 6 приводится во вращение рукояткой 9. Связь между рукояткой и осью может быть установлена или прекращена с помощью специального механизма, состоящего из защелки 10 и пружины 12. При закрытой защелке ось 11 смещена влево до сцепления конических шестерен 13 и 14. При открывании защелки пружина 12 отводит ось вправо, и сцепление между коническими шестернями прекращается.

При вращении оси 6 в результате действия центробежной силы шары расходятся, кольцо 7 и связанная с ним посредством оси 4 головка 2 с указателем поднимаются, причем каждому радиусу вращения шаров соответствует определенное положение указателя на шкале 1. Нажимая на головку, ее можно опускать до фиксированного стопорным кольцом 3 положения и тем самым изменять радиус вращения. Число  $v$  оборотов шаров за единицу времени измеряется тахометром 16, который может быть соединен с осью с помощью конической шестерни 15.

Используемые в приборе небольшие шары будем считать материальными точками. Модуль момента импульса

материальной точки  $L = mvr = mr^2\omega$ . Выразив угловую скорость через частоту вращения ( $\omega = 2\pi\nu$ ), а расстояние до оси вращения через диаметр, получим:

$$L = \frac{1}{2}\pi md^2\nu.$$

При быстром изменении диаметра окружности, по которой вращаются шары, момент внешних сил (сил трения) не успевает существенно изменить момент импульса, поэтому можно считать, что:

$$L = \frac{1}{2}\pi md^2\nu = \text{const}. \quad (1)$$

Цель работы состоит в проверке этого соотношения для различных  $d$ .

#### **Порядок выполнения работы**

1. Нажав на выступающий конец оси 11, переместите ее влево до зацепления шестерен 13 и 14 и зафиксируйте в этом положении защелкой 10.

2. Вращением рукоятки 9 раскрутите ось до частоты, превышающей 200 об/мин, затем нажатием на защелку 10 освободите ось (такое состояние прибора будем считать свободным вращением). Вследствие трения частота вращения уменьшается. Когда тахометр покажет  $\nu_0 = 140 \dots 160$  об/мин, заметьте показание стрелки  $n_0$  на шкале 1.

3. Приподнимая шары в невращающемся состоянии, подведите рукой указатель 2 к этому показанию на шкале и зафиксируйте стопорным кольцом 3. Измерьте расстояние  $d_0$  между центрами шаров.

4. Зафиксируйте указатель на 1...3 см ниже и измерьте расстояние  $d$  в этом случае. Повторите операции, перечисленные в пп. 1 и 2. В тот момент, когда стрелка тахометра проходит через деление шкалы, соответствующее  $\nu_0$ , головку 2 быстро опустите, надавливая на нее пальцем до соприкосновения со стопорным кольцом 3. Определите в этот момент показание тахометра  $\nu$ .

5. Повторите работу при трех различных положениях стопорного кольца 3, которым соответствуют отсчеты  $n_i$ , частоты  $\nu_i$  и диаметры  $d_i$ .

6. Вычислите значения  $L$  по формуле (1).

7. Оцените предельную погрешность.

Указание. Погрешность  $\Delta d$  имеет методический характер вследствие замены материальной точки реальным шаром и наличия массивных стержней. Поэтому абсолютную погрешность следует принять равной диаметру шара.

8. Полученные результаты запишите в таблицу:

$n$	$d, \text{ м}$	$v, \text{ об/мин}$	$\bar{L} + \Delta L, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2/\text{с}$

### Контрольные вопросы и задания

1. Что называют моментом импульса материальной точки относительно центра вращения?
2. Что называют моментом импульса тела относительно оси вращения? Сформулируйте закон сохранения момента импульса.
3. Что называют моментом силы относительно центра? относительно оси?
4. Запишите формулу момента силы в виде векторного произведения.
5. Диск вращается вокруг оси  $OO$ , перпендикулярной к плоскости чертежа, под действием силы  $F$ , лежащей в плоскости чертежа и направленной, как указано на рис. 1.40. Как направлен вектор момента импульса? момент силы?
6. Три силы лежат в плоскости чертежа, как показано на рис. 1.41. Сравните величины и направления моментов этих сил относительно оси  $O_1O_1$ , перпендикулярной к плоскости чертежа, и оси  $O_2O_2$ , лежащей в плоскости чертежа.
7. Приведите примеры практического применения закона сохранения момента импульса.

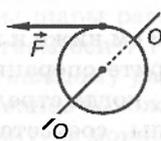


Рис. 1.40

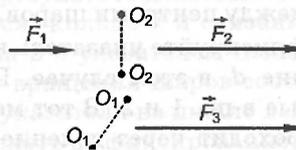


Рис. 1.41