

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № М-11

### ГИРОСКОП

#### **1. Цель работы**

Изучение понятий внешних сил, момента импульса, момента инерции, закона динамики вращательного движения твердого тела, экспериментальное исследование закономерностей гироскопического эффекта, опытное определение полного момента инерции гироскопа.

#### **2. Подготовка к работе**

Изучите теоретический материал по учебнику [1]: понятия момента силы, момента импульса, момента инерции, закон динамики вращательного движения твердого тела, принципы работы гироскопа и сущность гироскопического эффекта. Ознакомьтесь по данному методическому описанию со способом измерения характеристик гироскопического эффекта на лабораторном стенде и методом опытного определения полного момента инерции гироскопа. Подготовьте ответы на вопросы для допуска.

#### **3. Вопросы для допуска к лабораторной работе**

1. Дайте определение момента импульса. При каких условиях момент импульса твёрдого тела сохраняется?
2. Какова связь величины момента импульса с моментом инерции и угловой скоростью вращающегося тела?
3. Запишите уравнение вращательного движения твёрдого тела. Должны ли совпадать в пространстве направления векторов момента силы  $\vec{N}$  и момента импульса  $\vec{M}$  ?
4. Что называется гироскопом? Объясните сущность гироскопического эффекта.
5. В чём заключается принцип опытного определения момента инерции гироскопа?

#### **4. Литература**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. М.: Наука, 1998 г.

## 5. Методика проведения эксперимента и описание установки

Гирископом называют массивное тело, вращающееся с большой скоростью вокруг неподвижной оси симметрии. В экспериментальной установке, показанной на рис. 1, гирископом служит металлический диск I с горизонтально расположенной осью 2, который приводится во вращение электродвигателем 3. Ось гирископа опирается на шарнир 4, закреплённый на подставке 5. Горизонтальное положение оси обеспечивается противовесом 6. Сдвигая противовес вдоль градуированной шкалы 7, можно создавать дополнительный момент силы тяжести, действующий на гирископ при его вращении. Установка снабжена прибором 8, позволяющий измерять скорость вращения диска, а также угол и время поворота оси гирископа в горизонтальной плоскости. Для определения положения оси гирископа в горизонтальной плоскости служит шкала 10 с указателем II.

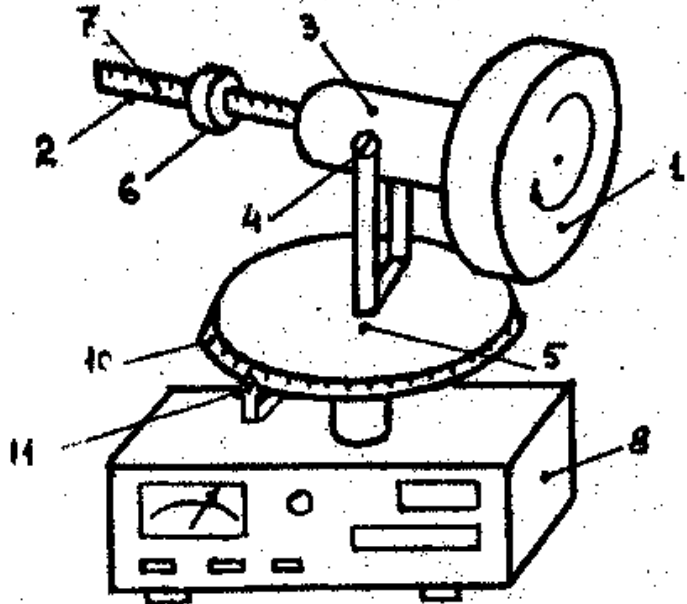


Рис. 1

Установка позволяет наблюдать так называемый гирископический эффект, заключающийся в том, что попытка повернуть ось гирископа в определённой плоскости  $X$  приводит на самом деле к повороту в плоскости, перпендикулярной плоскости  $X$ . Допустим, что в первоначальном положении противовес 6 уравновешивает гирископ так, что полный момент сил, действующих на гирископ,  $\vec{N} = 0$ . В этих условиях согласно закону сохранения момента импульса должно выполняться равенство  $\vec{M} = const$  и ось гирископа остаётся горизонтальной и неподвижной.

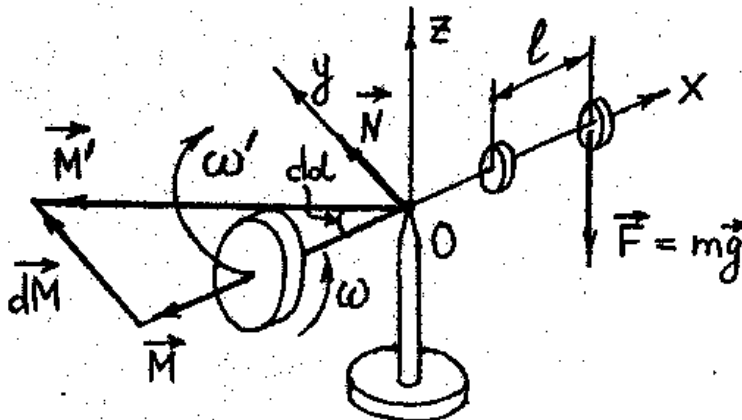


Рис. 2

Попытаемся теперь повернуть ось гирископа в вертикальной плоскости  $ZX$  по часовой стрелке. Для этого сдвинем противовес от положения равновесия на некоторое расстояние  $l$  (см. рис 2). При этом на гирископ будет действовать момент силы тяжести  $N$ , направленный вдоль оси  $y$  и по величине равный

$$N = mg\ell. \quad (1)$$

Согласно уравнению динамики вращательного движения твердого тела

$$\vec{N} = \frac{d\vec{M}}{dt}, \quad (2)$$

поэтому момент силы  $\vec{N}$  вызовет за время  $dt$  изменение момента импульса  $d\vec{M}$ , равное

$$d\vec{M} = \vec{N} \cdot dt. \quad (3)$$

Важно отметить, что вектор  $d\vec{M}$  направлен, как вектор  $\vec{N}$ , по оси  $y$ , т.е. перпендикулярно первоначальному направлению вектора  $\vec{M}$ . В результате вектор момента импульса гироскопа займет в пространстве новое положение

$$\vec{M}' = \vec{M} + d\vec{M}$$

что соответствует повороту оси гироскопа в горизонтальной плоскости  $xu$  на некоторый угол  $d\alpha$ . При постоянно действующем моменте силы  $\vec{N}$  гироскопический эффект приведет к равномерному горизонтальному вращению оси гироскопа с относительно малой угловой скоростью

$$\omega' = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{\alpha}{t}. \quad (5)$$

Установим связь между  $\omega'$  и другими параметрами гироскопа. Из рис. 2 следует, что

$$\operatorname{tg}(d\alpha) = \frac{dM}{M} \quad (6)$$

Для малых углов  $\operatorname{tg}(d\alpha) \approx d\alpha$ , тогда, подставляя (5) в (6), получаем:

$$\omega' = \frac{dM}{dt} \cdot \frac{1}{M} \quad (7)$$

Учитывая, что (см. (1) и (2))

$$\frac{dM}{dt} = N = mg\ell$$

и принимая во внимание известное соотношение,

$$M = I\omega, \quad (8)$$

находим

$$\omega' = \frac{mg\ell}{I\omega} \quad (9)$$

Формула (9) дает возможность определять момент инерции гироскопа двумя способами. Во-первых, можно измерить зависимость  $\omega'$  от  $\omega$  при  $\ell = \text{const}$ . Будучи построенной в координатах  $\omega'$  и  $1/\omega$  эта зависимость будет прямой линией с наклоном

$$A_1 = \frac{d\omega'}{d \frac{1}{\omega}} = \frac{mg\ell}{I},$$

Откуда

$$I = \frac{mg\ell}{A_1} \quad (10)$$

Во-вторых, можно измерить зависимость  $\omega' \ell$  при  $\omega = const$ . Определяя наклон  $A_2$  этой прямой линии

$$A_2 = \frac{d\omega'}{d\ell} = \frac{mg}{I\omega},$$

находим

$$I = \frac{mg}{\omega A_2} \quad (11)$$

При расчетах по формулам (10) и (11) угловая скорость вращения диска гироскопа  $\omega$  рассчитывается следующим образом:

$$\omega = 2\pi n, \quad (12)$$

где  $n$  – число оборотов в единицу времени, отсчитываемое по шкале прибора 8.

## 6. Порядок выполнения работы

### 6.1. Подготовка установки к работе.

1. Установить ручку "Регулировка скорости" в крайнее левое положение. Включить установку в сеть (выполняет лаборант). Кнопки "Сброс" и "Стоп" должны находиться в отжатом положении.

2. Освободить винт, закрепляющий противовес. Перемещая противовес, добиться равновесного горизонтального положения оси гироскопа, Закрепить противовес винтом в найденном положении.

### 6.2. Определение погрешности измерения временных промежутков.

1. Медленно вращая вправо ручку "Регулировка скорости", установить по прибору некоторое число оборотов в минуту электродвигателя, ориентируясь при этом на среднюю часть шкалы прибора 8. Дождаться установления стабильного показания стрелки прибора 8.

2. Придерживая рукой дальний от диска конец оси гироскопа, освободить винт закрепления противовеса и сдвинуть противовес влево на некоторое расстояние  $\ell$  в средней части шкалы 7.

3. Продолжая придерживать ось гироскопа рукой в горизонтальном положении, привести указатель поворота II в нулевое положение по шкале 10. Нажать кнопку "Сброс". Осторожно, без рывков отпустить ось гироскопа, в результате чего она начнёт медленное вращение в горизонтальной плоскости. Дождавшись появления цифры "2" на цифровом индикаторе углов поворота, нажать на кнопку "Стоп". После этого отсчет индикатора углов поворота автоматически останавливается на цифре "3", что соответствует углу поворота  $30^\circ$ ; одновременно на шкале цифрового индикатора времени высвечивается соответствующее

щее этому углу время поворота оси гироскопа  $t$ . Величину  $t$  следует записать в табл. I.

4. Не сдвигая противовеса и ручки "Регулировка скорости", провести аналогичные измерения времени поворота еще четыре раза. Записать полученные значения  $t$  в табл. 1.

6.3. Измерение зависимости  $\omega' \ell$  при  $\omega = const$ .

1. Сдвинуть противовес в положение равновесия.

2. Медленно вращая ручку "Регулировка скорости", установить определенное число оборотов в минуту диска  $n$ , рекомендуемое преподавателем. Сдвигая противовес вправо на различные расстояния  $\ell_1 \div \ell_5$  в пределах шкалы 7, провести однократные измерения времени горизонтального поворота оси гироскопа  $t_1 \div t_5$ . Измерения проводятся в соответствии с пунктами 2-5 предыдущего раздела 6.2. Данные записать в табл. 2.

6.4. Измерение зависимости  $\omega' \omega$  при  $\ell = const$ .

1. Ручку "Регулировка скорости" привести в крайнее левое положение.

2. Сдвинуть противовес в определенное положение, рекомендуемое преподавателем.

3. Медленно вращая ручку "Регулировка скорости", установить определенное число оборотов диска в минуту  $n_1$  в левой половине шкалы прибора 8 и в соответствии с пунктом 3 раздела 6.2 однократно измерить время горизонтального поворота оси гироскопа  $t_1$ . Величину  $t_1$  занести в табл. 3.

4. Аналогичные однократные измерения величин  $t_2 \div t_5$  произвести при четырёх других числах оборотов в минуту диска  $n_2 \div n_5$ .

Данные записать в табл. 3.

## 7. Оформление отчёта

1. По данным табл. 1. рассчитать среднее значение  $\langle t \rangle$ , разности  $\rho_i$  и среднеквадратичное отклонение  $\delta_t$ .

2. По данным табл. 2, рассчитать момент силы тяжести противовеса  $N$  (формула (1)), угловые скорости горизонтального вращения оси гироскопа  $\omega'$  (формула (5)); при этом угол поворота  $\alpha = 30^\circ$  следует выразить в радианах.

3. По данным табл. 2. построить график зависимости  $\omega' \ell$  и по его наклону, пользуясь формулой (10), определить момент инерции гироскопа  $I$ . Записать полученное значение в нижнюю строку табл. 2.

4. По данным табл. 3. рассчитать угловые скорости вращения диска  $\omega$  (формула (12)) (величину  $n$  выразить в оборотах в секунду),  $\frac{1}{\omega}$  и угловые скорости горизонтального вращения оси гироскопа  $\omega'$  (формула (5)); угол  $\alpha = 30^\circ$  выразить в радианах.

5. По данным табл.2. построить график зависимости  $\omega' \frac{1}{\omega}$  и по его наклону, пользуясь формулой (II), определить момент инерции гироскопа I. Записать полученное значение в нижнюю строку табл.3.

6. Рассчитать абсолютную  $\delta_{I,ср}$  и относительную  $\delta_I$  погрешности полученных величин момента инерции I. Для этого выразить I, как функцию непосредственно измеряемых величин  $n$ ,  $\ell$ ,  $d$ ,  $t$ , используя формулы (5), (9) и (12). При расчетах рекомендуется: пренебречь погрешностями измерения угла  $\alpha$ , в качестве  $\delta_n$  принять величину, равную половине мелкого деления шкалы прибора  $\delta$  (в оборотах в секунду), в качестве  $\delta_\ell$  принять величину, равную половине мелкого деления шкалы расстояний, по которой перемещается противовес, величину  $\delta_t$  взять из табл.1.

7. По полученным результатам эксперимента сделать выводы.

Таблица 1

$t, c$	$\langle t \rangle, c$	$\rho_i = t_i - \langle t \rangle$	$\delta_t$

Таблица 2

$\ell, m$	$N, H \cdot m$	$t, c$	$\omega', \text{рад}/с$
I=			

Таблица 3

$n \text{ об}/с$	$\omega, \text{рад}/с$	$1/\omega, с/\text{рад}$	$t, c$	$\omega', \text{рад}/с$
I=				