

## Лабораторная работа № 9

### Гироскоп

**Цель работы:** наблюдение прецессии гироскопа, определение скорости прецессии гироскопа и ее зависимости от скорости вращения маховика гироскопа.

#### Теория.

**Гироскоп** – твердое тело, симметричное относительно оси вращения и вращающееся с большой угловой скоростью.

В качестве примера рассмотрим гироскоп на кардановом подвесе (рис.1).

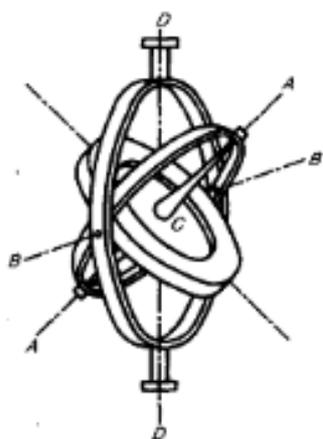


Рис. 1

Дискообразное тело – гироскоп – закреплено на оси AA, которая может вращаться вокруг перпендикулярной ей оси BB, которая, в свою очередь, может поворачиваться вокруг вертикальной оси DD. Все три оси пересекаются в одной точке С, являющейся центром масс гироскопа и остающейся неподвижной, а ось гироскопа может принять любое направление в пространстве.

Силами трения во всех трех подшипниках пренебрегаем.

Пока гироскоп неподвижен, его оси можно придать любое направление. Если гироскоп начать быстро вращать, то ось гироскопа сохраняет в пространстве приданное ей первоначальное направление. Это объяснимо с помощью основного закона динамики вращательного движения. Момент внешних сил относительно закрепленного центра масс гироскопа равен нулю, то согласно уравнению

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_{внеш} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad \left( \sum_{i=1}^n \vec{M}_{внеш} - \text{суммарный момент внешних сил,} \right.$$

$\vec{L}$  – момент импульса гироскопа).

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \quad \text{и} \quad \vec{L} = \text{Const} \quad (1)$$

У симметричного тела направления момента импульса  $\vec{L}$  и угловой скорости  $\vec{\omega}$  совпадают, поэтому  $\vec{L} = \vec{J}\vec{\omega}$  ( $\vec{J}$  – момент инерции гироскопа относительно оси симметрии). Согласно (1) угловая скорость  $\vec{\omega}$ , а также ось вращения сохраняют неизменным направление в пространстве.

Если момент внешних сил, приложенных к вращающемуся гироскопу, относительно его центра

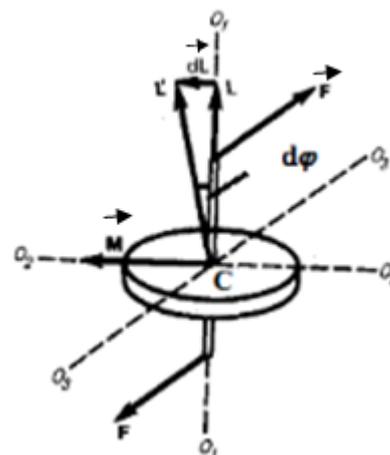


Рис. 2

масс отличен от нуля, то наблюдается явление, получившее название *гирскопического эффекта*. Оно состоит в том, что под действием пары сил  $\vec{F}$ , приложенной к оси вращающегося гироскопа  $O_1O_1$  (рис.2) поворачивается вокруг прямой  $O_3O_3$ , а не вокруг прямой  $O_2O_2$ , как это казалось бы естественным на первый взгляд ( $O_1O_1$  и  $O_2O_2$  лежат в плоскости чертежа, а  $O_3O_3$  и силы  $\vec{F}$  перпендикулярны ей).

Поясним это. Сила тяжести  $\vec{P}$  создает вращающийся момент относительно центра подвеса С  $\vec{M} = [\vec{r}\vec{P}]$ , где  $\vec{r}$  – радиус-вектор приложения силы. Момент  $\vec{M}$  пары сил  $\vec{F}$  направлен вдоль оси  $O_2O_2$ . За время  $dt$  момент импульса  $\vec{L}$  гироскопа получит приращение:

$$d\vec{L} = \vec{M} dt$$

Векторы  $\vec{M}$  и  $d\vec{L}$  имеют одинаковое направление, т.е.  $d\vec{L}$  перпендикулярен  $\vec{L}$ . Новое значение момента импульса:

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

Направление вектора  $\vec{L}'$  совпадает с новым направлением оси вращения гироскопа. Таким образом, ось вращения гироскопа повернется вокруг прямой  $O_3O_3$ . Если время действия силы мало, то, хотя момент сил  $\vec{M}$  и велик, изменение момента импульса  $d\vec{L}$  гироскопа будет также весьма малым. Поэтому кратковременное действие сил практически не приводит к изменению ориентации оси вращения гироскопа в пространстве.

Элементарное приращение  $d\vec{L}$  все время будет перпендикулярно к вектору  $\vec{L}$ , ось гироскопа будет поворачиваться, описывая круг в горизонтальной плоскости. Такое движение называют прецессией. Теперь перейдем к описанию установки.

### Описание установки.

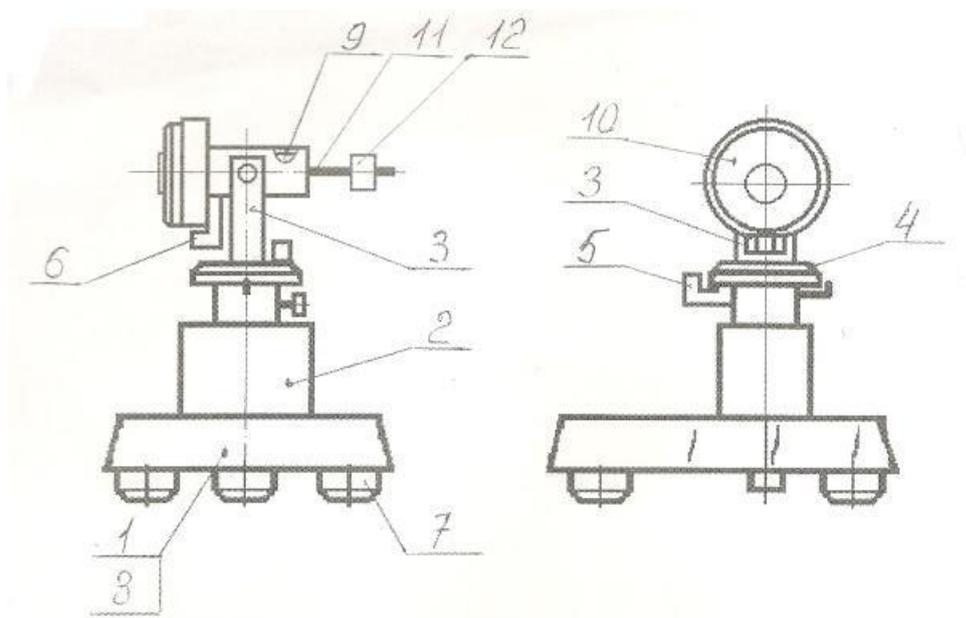


Рис. 3

### **Устройство и принцип работы изделия.**

Установка представлена на рисунке 3 и включает в свой состав: основание 1; корпус 2 с узлом подшипников, в котором установлен вал с коллектором; вилку 3, закрепленную на валу и предназначенную для крепления гироскопической системы; гироскопическую систему; лимб 4; фотодатчик 5; фотодатчик 6.

Основание 1 снабжено четырьмя регулируемыми опорами 7 и винтом-барашком 8 для фиксации корпуса 2.

Лимб 4 предназначен для определения угла поворота гироскопической системы во время прецессии.

Гироскопическая система состоит из электродвигателя 9 с диском 10 (маховиком), стержня 11 и противовеса 12. Стержень 11 и противовес 12 предназначены для создания свободной уравновешенной системы относительно горизонтальной оси и создания момента внешних сил, вызывающих прецессию гироскопа.

Фотодатчик 5 предназначен для выдачи сигналов при измерении скорости прецессии.

Фотодатчик 6 предназначен для выдачи сигналов при измерении скорости вращения маховика гироскопа.

Установка работает совместно с блоком электронным ФМ 1/1-1, который входит в комплект поставки.

### **Указание мер безопасности.**

1. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
2. **Запрещается** устанавливать частоту вращения маховика гироскопа более **85** Гц.
3. Время непрерывной работы двигателя гироскопа – 10 минут, перерыв – 5 минут.
4. Для предотвращения опрокидывания установки необходимо располагать ее только на горизонтальной поверхности.
5. С целью обеспечения требований электробезопасности установка должна быть заземлена (винт заземления находится на задней стенке блока).

### **Порядок выполнения лабораторной работы.**

1. Определение угловой скорости прецессии гироскопа.

1.1. Выставим основание гироскопа в горизонтальное положение.

1.2. Передвигая противовес (12) по стержню (11), добиться того, чтобы гироскопическая система находилась в положении равновесия.

1.3. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока. Удерживая кнопку «+», установить скорость в пределах 59-61 Гц (левое табло).

1.4. Отпустить кнопку «+» и дождаться ускорения маховика до установленной скорости в течение 1-2 мин.

1.5. Выключить блок, дождаться остановки маховика, измерить расстояние от конца стержня до плоскости противовеса  $l_0$  ( $l_0 \approx 45$  мм).

1.6. Сместить противовес так, чтобы расстояние от конца стержня до плоскости противовеса  $\ell_1$  составила 10мм (1 целое деление на стержне). Определить  $\Delta\ell_1$  по формуле:

$$\Delta\ell_1 = \ell_0 - \ell_1$$

1.7. Повернуть гироскопическую систему так, чтобы указатель угла поворота показывал на 0 градусов. Затем сместить гироскопическую систему на 1-2 деления против часовой стрелки.

1.8. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока и кнопкой «+» установить скорость вращения маховика 39-41 Гц., одновременно удерживая рукой стержень с противовесом в горизонтальном положении.

1.9. Плавно опустить стержень с противовесом. При этом гироскопическая система начинает плавно вращаться по часовой стрелке.

1.10. Зафиксировать время перемещения гироскопической системы на четверть оборота диска с помощью правого табло блока  $\Omega_1$ .

Не выключая питания установки, повторить измерения 5-7 раз, перемещая гироскопическую систему в исходное положение. Определить среднее значение  $\Omega_1$ .

1.11. Выключить блок и переместить противовес еще на 10мм, установив расстояние от конца стержня до противовеса  $\ell_2$  20мм (2 полных деления). Определить  $\Delta\ell_2$  по формуле:

$$\Delta\ell_2 = \ell_0 - \ell_2$$

1.12. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока и кнопкой «+» вновь установить скорость вращения маховика 39-41Гц.

1.13. Повторить выполнение пунктов 1.7 - 1.10 для измерения скорости прецессии  $\Omega_2$  при значении  $\Delta\ell_2$ .

1.14. Убедиться в правильности соотношения:

$$\Delta\ell_1 \cdot \Omega_1 = \Delta\ell_2 \cdot \Omega_2 = \text{Const}$$

Таблица №1.

Определение угловой скорости прецессии гироскопа.

Положение противовеса в состоянии равновесия $\ell_0$ (мм)	Число оборотов гироскопа (Гц)	Положение противовеса $\ell_i$ (мм)	Значение угла прецессии (рад)	Время прецессии (с)	Скорость прецессии $\Omega$ (рад/с)
45	39 – 41	10	$\frac{\pi}{4}$		
45	39 – 41	20	$\frac{\pi}{4}$		

По данной таблице составить отношение  $\frac{\ell_i - \ell_0}{\Omega}$ .

2. Определение зависимости угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа.

2.1. Установить скорость вращения маховика 30 Гц и произвести измерения скорости прецессии, выполняя пункты 1.7 – 1.10.

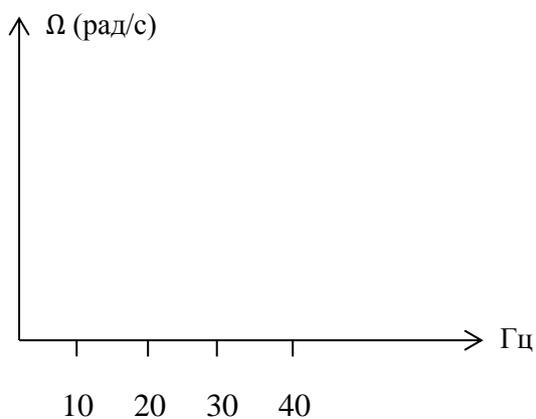
2.2. Повторить пункт 2.1 для значений 10, 20, 40 Гц.

Таблица №2.

Определение угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа.

Скорость вращения (Гц)	Положение противовеса $\ell_i$ (мм)	Значение угла прецессии (рад)	Время прецессии (с)	Скорость прецессии $\Omega$ (рад/с)
10	20	$\frac{\pi}{4}$		
20	20	$\frac{\pi}{4}$		
30	20	$\frac{\pi}{4}$		
40	20	$\frac{\pi}{4}$		

2.3. Построить график зависимости скорости прецессии  $\Omega$  от скорости вращения маховика для следующих значений: 10, 20, 30, 40 Гц.



**Контрольные вопросы.**

1. Выведите и сформулируйте закон сохранения момента импульса.
2. Приведите примеры проявления закона сохранения момента импульса.
3. Что называют гироскопом? Объяснить работу гироскопа на кардановом подвесе.
4. В чем состоит гироскопический эффект?
5. Какое движение гироскопа называют прецессией?
6. Рассмотреть прецессию волчка, ось которого отклонена от вертикального положения.
7. От чего и каким образом зависит угловая скорость прецессии?