

## Лабораторная работа № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦЕССИИ ГИРОСКОПА

Цель работы - ознакомление с особенностями движения гироскопа, измерение времени и угла прецессии, а также определение момента импульса гироскопа.

Приборы и принадлежности: гироскопическая установка FPM-10; блок управления и измерений (рабочая погрешность измерения времени не больше 0,02%; рабочая погрешность измерения скорости оборотов двигателя не более  $\pm 2,5\%$ ).

Питание: переменное напряжение сети - 220 В; потребляемая мощность - 125 Вт; частота переменного напряжения - 50 Гц.

При запуске, обслуживании и ходе за гироскопом надо соблюдать технику безопасности.

Прибор допускается эксплуатировать только при наличии заземления!

#### Краткие сведения из теории

Гироскопом называется твердое тело, симметричное относительно оси вращения и врачающееся с большой угловой скоростью.

Гироскоп обладает рядом замечательных свойств, позволяющих создавать устройства для измерения углов, стабилизации платформ, гирокомпасов.

Гироскоп, будучи приведен во вращение вокруг оси симметрии (свободная ось), стремится сохранить направление своей оси неизменным в пространстве при равенстве нулю моментов внешних сил.

По основному закону динамики вращательного движения  $\vec{M}dt = d(\vec{J}\vec{\omega})$ . Если  $M = 0$ , то  $J\vec{\omega} = \text{const}$ . Но  $J = \text{const}$  для твердого тела, следовательно,  $\vec{\omega} = \text{const}$ , т.е. величина и направление угловой скорости в пространстве должно оставаться неизменным.

При резких кратковременных ударах по гироскопу он не меняет своей ориентировки в пространстве, но ось начинает дрожать около положения равновесия. Это явление получило название нутации. При попытке вызвать поворот гироскопа наблюдается своеобразное явление, получившее название гироскопического аффекта: под действием сил, которые, казалось бы, должны вызывать поворот оси гироскопа 00' вокруг прямой 0'0' (рис.1), ось гироскопа поворачивается вокруг прямой 0"0" (ось 00' и прямая 0'0' предполагается лежащими в плоскости рисунка, а прямая 0"0" и силы  $\vec{F}_1$ , и  $\vec{F}_2$  - перпендикулярными к этой плоскости). Противостоящее на первый взгляд поведение гироскопа оказывается полностью соответствующим законам динамики вращательного движения. В самом деле, момент сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  направлен вдоль прямой 0'0'. За время  $dt$  момент импульса гироскопа  $\vec{L}$  получит приращение  $d\vec{L} = \vec{M}dt$ , которое имеет такое же направление, как и  $\vec{M}$ . Спустя время  $dt$  момент импульса гироскопа будет равен результирующей  $\vec{L}' = \vec{L} + d\vec{L}$ , лежащей в плоскости рис. 1. Направление вектора  $\vec{L}'$  совпадает с новым направлением оси гироскопа. Таким образом, ось гироскопа повернется вокруг прямой 0"0" на некоторый угол  $d\alpha$ . Из рис.1 видно, что  $d\alpha = \left| \frac{d\vec{L}}{\vec{L}} \right| / L = Mdt / L$ . Отсюда следует, что поворот оси гироскопа в новое положение произошел с угловой скоростью  $\Omega = d\alpha / dt = M / L$ . Такое движение гироскопа называется прецессией, а  $\Omega$  - угловая скорость прецессии.

Векторы  $\vec{M}$ ,  $\vec{L}$  и  $\vec{\Omega}$  взаимно перпендикулярны (вектор и направлен вдоль прямой 0"0" на нас). По атому связь между ними можно записать в следующем виде:  $\vec{M} = \vec{\Omega} \times \vec{L}$ , т.е. внешний момент сил выражается как векторное произведение вектора угловой скорости прецессии на вектор момента импульса гироскопа. При попытках вызвать поворот оси гироскопа заданным образом вследствие гироскопического аффекта возникают так называемые гироскопические силы, действующие на подшипники, в которых вращается ось гироскопа.

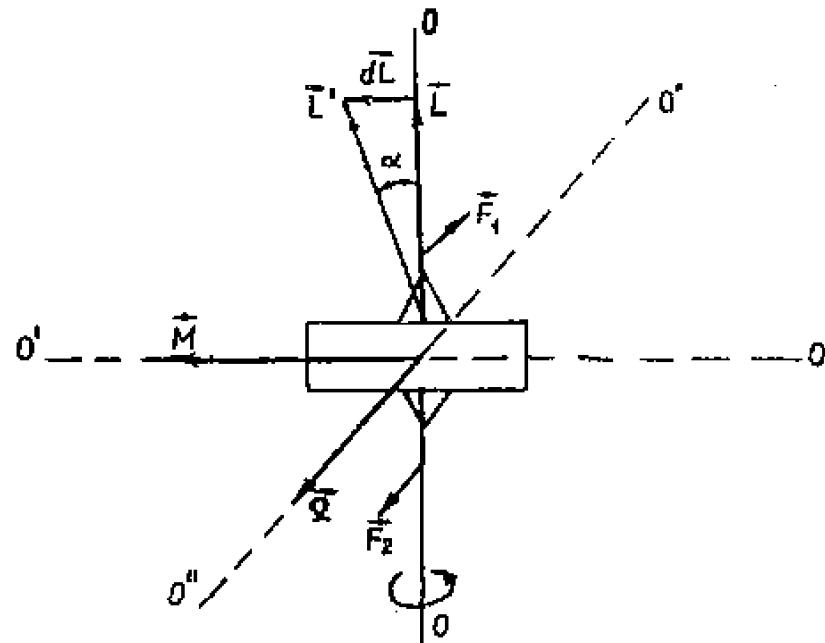


Рис. 1

#### Описание экспериментальной установки

Гироскоп FPM-10 представлен на рис. 2. На основании 1, оснащенном ножками с регулируемой высотой, позволяющими провести выравнивание прибора, закреплен колонка 2. На ней закреплен кронштейн 3, на котором прикреплены фотоэлектрический датчик номер 4 и внешняя втулка вращательного соединителя 5. Вращательный соединитель позволяет гироскопу вращаться вокруг своей вертикальной оси. Посредством разъемов ZL2-ZL6 подводится электрический ток электродвигателю 7 и фотоэлектрическому датчику №2 6.

Электрический двигатель смонтирован на кронштейне 8 таким образом, что позволяет неограниченный оборот в горизонтальной плоскости. На вале двигателя установлен маховик 9, защищенный экраном 10. Рычаг 11, закрепленный на корпусе двигателя, имеет нанесенную метрическую шкалу. На рычаге закреплен груз 12. При помощи перемещения груза по рычагу можно уравновесить гироскоп. Масса перемещаемого груза  $m = 0,59 \pm 0,05$  кг.

Поворот гироскопа вокруг вертикальной оси можно отсчитать с диска 13 по угловой шкале при помощи указателя 14. Диск 13 имеет на окружности отверстия через каждые  $5^\circ$ . Эти отверстия, подсчитываемые фотоэлектрическим датчиком №1, передают в блок управления и измерений FPM-10 15 информацию об

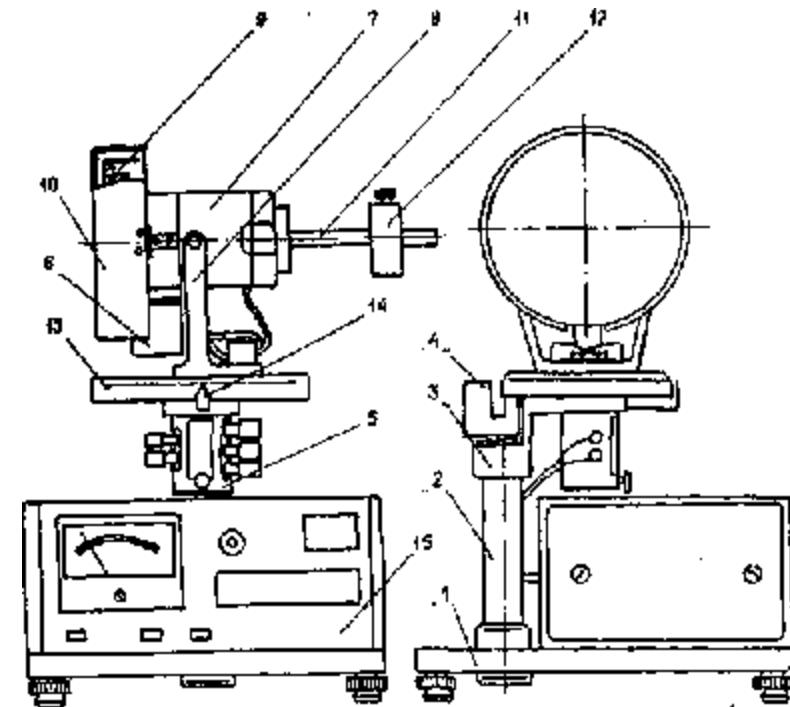


Рис. 2

угле поворота гироскопа. Маховик 9 имеет по окружности нарезки, которые подсчитываются фотоэлектрическим датчиком №2 для передачи в блок управления и измерений информации о скорости электрического двигателя.

Электрическая схема гироскопа FPM-10 состоит из блока управления и измерений, фотоэлектрических датчиков №1 и №2. Блок управления и измерений

собран на трех печатных платах, из которых две соединены друг с другом при помощи специального соединителя. Элементы для текущего обслуживания прибора помещены на лицевой панели блока, а гнездо для подключения фотоэлектрических датчиков и двигателя - на его задней стенке.

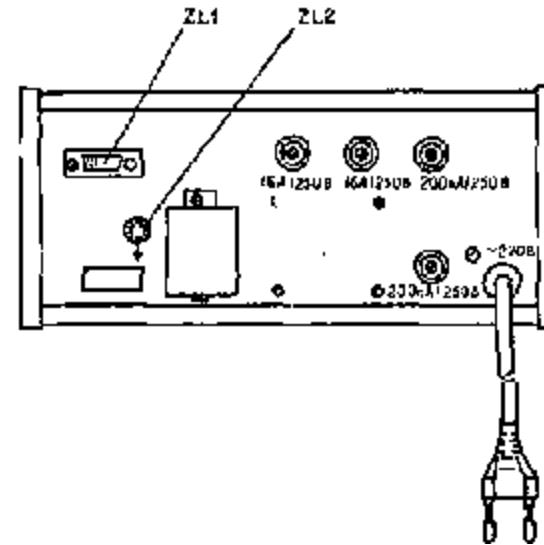
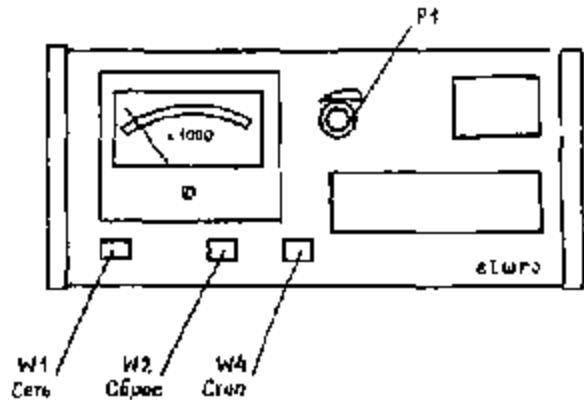


Рис. 3

Виды лицевой панели и задней стенки блока управления и измерений представлены на рис.3.

На лицевой панели блока управления и измерений находятся следующие манипуляционные элементы:

W1 (сеть) - выключатель сети - нажатие клавиши вызывает включение питающего напряжения. Это объясняется свечением цифровых индикаторов (высвечивающих цифру нуль) и свечением лампочек фотоэлектрических датчиков №1, 2;

W2 (сброс) - сброс измерителя - нажатия клавиши вызывает генерирование сигнала разрешения на измерение;

W4 (стоп) - окончание измерения - нажатие этой клавиши вызывает генерирование сигнала разрешения на окончание процесса счета;

P1 (регулятор скорости) - вращение потенциометром вызывает включение напряжения питания двигателя и управление скоростью оборотов двигателя.

На задней стенке блока управления и измерений находятся:

ZL1 - входное гнездо, служащее для подключения фотоэлектрических датчиков №1, №2 и питания двигателя;

ZL2 - заземляющий зажим.

## Принцип работы прибора

Принцип работы гироскопа основан на законах вращательного движения твердых тел вокруг их свободных осей. В работе изучается движение гироскопа в пространственной системе координат под действием внешнего момента.

Принимаются следующие направления координатных осей:

- ось ОХ проходит через подшипник подвески двигателя 8;
- ось ОY проходит перпендикулярно к оси ОХ и через центр двигателя;
- ось ОZ проходит вдоль рычага 11, оси двигателя и центра маховика 9.

В системе координат движения гироскопа описывают следующие уравнения:

$$\begin{aligned} L \frac{d\alpha}{dt} &= M_x; \\ L \frac{d\beta}{dt} &= M_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $M_x$ ,  $M_y$  - составляющие моменты внешних сил;  $L$  - момент импульса гироскопа,  $d\alpha/dt$  - угловая скорость прецессии;  $d\beta/dt$  - угловая скорость вдоль оси Y.

$$L = J_z \omega, \quad (2)$$

здесь  $J_z$  - момент инерции мотора двигателя и маховика,  $\omega$  - угловая скорость двигателя.

Для упрощения принимается составляющая момента внешних сил  $M_y = 0$  (отсутствие нутации) и  $d\beta/dt = 0$ .

## Конкретные задачи

1. Ознакомиться с особенностями движения гироскопа.
2. Перевести гироскоп в режим прецессии.
3. Определить угловую скорость прецессии  $\Omega$ .
4. Определить момент импульса гироскопа  $L$ .
6. Определить момент инерции ротора двигателя с диском  $J_z$ .

## Порядок выполнения работы

- I. Подготовка установки к измерениям.
1. Проверить выравнивание прибора.
2. Подключить прибор к питающей сети.

3. Нажать клавишу сеть, проверяя все ли индикаторы высвечивают цифру нуль и светятся ли лампочки фотоэлектрических датчиков №1 и №2.

4. Включить питание двигателя.

5. Плавно вращая воротком потенциометра регулятор скорости, проверить, работает ли двигатель и отклоняется ли стрелка показателя скорости оборотов, двигателя.

6. Выключить питание двигателя.

II. Измерение времени и угла прецессии гироскопа.

1. Установить рычаг гироскопа перпендикулярно вертикальной оси при помощи перемещаемого груза.

2. Включить питание двигателя.

3. Отрегулировать обороты гироскопа примерно на 5000 об/мин (убедиться в отсутствии прецессии).

4. Перемещать груз 12 на 2 см влево или вправо.

5. Нажать кнопку "сброс".

6. Нажать „стоп“ после поворота гироскопа на угол не менее  $30^\circ$  и дождаться остановки таймера.

7. Вычислить угловую скорость прецессии  $d\alpha/dt$  после снятия отсчета значения угла и времени прецессии.

8. Выключить питание двигателя.

Измерения времени и угла прецессии повторить 3-5 раз при разных положениях груза 12 и одном и том же значении оборотов гироскопа. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

№ из- ме- ре- ния	Положение про- тивовеса 12 в состоянии равно- весия системы $L_0$ , м	Число оборотов гироско- па n	Положения перемеща- емого про- тивовеса $L_i$ , м	Значения угла пре- цессии $\Delta\alpha$ , рад	Время пре- цессии $\Delta t$ , с	Угловая скорость прецессии $\Omega$ , рад/с	$(\frac{L_i - L_0}{\Omega})$ , мс/рад
1							
2							
3							
4							
5							

$$(\frac{L_i - L_0}{\Omega})_{cp} =$$

По данным табл. 1 составить отношение  $\left(\frac{L_i - L_0}{\Omega}\right)$ , где  $(L_i - L_0)$  - смещение противовеса от положения равновесия для системы,  $\Omega$  - угловая скорость прецессии. Оценить погрешность  $\left(\frac{L_i - L_0}{\Omega}\right)$ .

III. Измерение момента импульса гироскопа. Вычислить момент импульса гироскопа  $\bar{L}$  при известной угловой скорости прецессии  $\Delta\alpha/\Delta t$  и заданном моменте внешней силы  $M=mgl$  по формуле (1). Результаты измерений занести в табл. 2.

IV. Измерение момента инерции ротора двигателя и маховика. Вычислить момент инерции ротора двигателя и маховика  $J_z$  при известном моменте импульса гироскопа  $\bar{L}$  и известной угловой скорости двигателя  $\omega$  по формуле (2). Результаты измерений занести в табл.2.

Т а б л и ц а 2

№ изме- рения	Момент внешних сил $M$ , Нм	Угловая ско- рость прецессии $\Omega$ , рад/с	Момент им- пульса гиро- скопа $L$ , $\text{м} \cdot \text{м}^2/\text{с}$	Угловая ско- рость двига- теля $\omega$ , рад/с	Момент инерции ро- тора и махо- вика $J_z$ , $\text{к} \cdot \text{м}^2$
1					
2					
3					
4					
5					
$L_{cp} =$		$J_{zcp} =$			

#### Обработка и анализ результатов измерений

- Построить график зависимости угловой скорости прецессии от внешнего момента  $\Omega = f(M)$  по данным табл. 8.1.
- Оценить погрешность определения момента импульса гироскопа и момент инерции ротора двигателя и маховика по данным табл.6.2.

#### Контрольные вопросы

- Что называется гироскопом?
- Рассмотреть прецессию волчка, ось которого отклонена от вертикального положения.
- Как изменится скорость прецессии с изменением угловой скорости вращения?
- Описать принцип работы гироскопического компаса.

Библиогр.: /27 §44; /47 гл.ХIII, §§103, 104.

#### Литература

- Детлаф А.А. и др. Курс физики. Т.1.М.:Высшая школа, 1973.
- Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1.М.:Наука, 1977.
- Савельев И.В. Курс физики. Т.1.М.:Наука, 1982.
- Хайкин С.8. Физические основы механики. М.:изматгиз, 1971.
- Методические указания к лабораторным работам по физике. 4.1. Механика, толеокуллярная физика/Сост.: А.И.Мальцев, Н.В.Севеиченко. Ленинград:Л., 1983. 67с.

#### Методические указания к лабораторным работам по физике

##### Часть I

##### Физические основы механики

Составители: Асташина Галина Николаевна, Костыгова Ирина Евгеньевна,

Путикова Нина Аристидовна, Халилулин Кадер Абдулхакович

Редактор И.В.Миронова Технический редактор Л.Н.Короткова

Корректор Л.А.Петрова

Подписано в печать 31.12. 88. Формат 60x90/16. Бумага тип. №3. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 4,1 . Усл. кр.-отт.4,2г5. Уч.-изд.л.3,85. Тираж 1500 экз. Заказ К<sup>0</sup> f . Цена

25 к.

Ленинградский механический институт

Типография Ленинградского Механического института Адрес института и типография: 198005 Ленинград, 1-я Красноармейская ул., д.1