

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО

Радиофизический факультет

Кафедра общей физики

ГИРОСКОП

Описание к лабораторной работе

ГИРОСКОП

Составитель

ШУШАРИН

АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

Подписано к печати 10.10.96г. формат 60х84 1/16
Печатать офсетная. Бумага оберточная. Усл. печ. л. 1.
Тираж 300 экз. Заказ 1795. Бесплатно.

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского.
603600 ГСП-20, Н. Новгород, просп. Гагарина, 23.

Типография ННГУ. 603000, Н. Новгород, ул. Б. Покровская, 37.

Нижний Новгород, 1996

ГИРОСКОП

1. Краткая теория

Гирископом называется твердое тело симметричной формы, вращающееся с большой скоростью вокруг оси симметрии. Явления, обусловленные таким быстрым вращением, называются гироскопическими.

Чтобы ось гироскопа могла свободно поворачиваться в пространстве, гироскоп укрепляют в кардановом подвесе (см. рис. 1). Тело гироскопа (маховичок 1) закрепляется на оси 2, которая может свободно вращаться в подшипниках внутренней кольца 3. Полуоси кольца 3 вставлены в подшипники наружного кольца 4, полуоси которого свободно вращаются в подшипниках стойки 5.

При таком креплении тело гироскопа может свободно поворачиваться вокруг трех осей $A'A''$, $B'B''$, $C'C''$, пересекающихся в одной точке O (центре карданова подвеса), и ось тела гироскопа $A'A''$ может иметь любую ориентацию в пространстве.

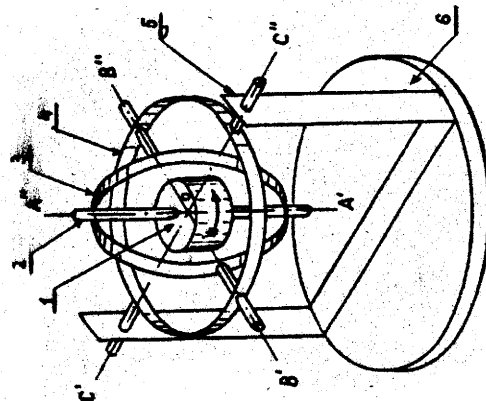


Рис. 1:

- 1-маховичок;
- 2-ось маховичка;
- 3-внутреннее кольцо;
- 4-наружное кольцо;
- 5-стойка;
- 6-платформа

УДК 53.

Гироскоп: Описание к лабораторной работе/Сост. А. В. Шишарин. - Н. Новгород: ННГУ, 1996. - 14 с.

Даны методические указания по выполнению лабораторной работы общего физического практикума.

Для студентов первого курса радиотехнического факультета.
Рис. 5.

Составитель канд. физ.-мат. наук А. В. Шишарин
Рецензент канд. физ.-мат. наук М. И. Бакунцов

Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, 1996

Движение гироскопа, как и любого твердого тела, подчиняется уравнению моментов

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{M} \quad (1)$$

где \vec{M} - момент импульса гироскопа, а \vec{M} - результирующий момент внешних сил, взятые относительно неподвижной точки.

Основные гироскопические явления можно объяснить в рамках приближенной теории гироскопа. При этом предполагается, что угловая скорость вращения тела гироскопа $\vec{\Omega}$ (скорость собственного вращения) существенно больше угловых скоростей $\vec{\Omega}$ других поворотов. Тогда можно считать, что в любой момент времени вектор момента импульса гироскопа $\vec{M}(t)$ равен $I\vec{\omega}(t)$ (I - момент инерции гироскопа) и направлен по его оси симметрии. При этих предположениях, решая уравнение (1), находим вместе с $\vec{M}(t)$ и движение оси гироскопа, поскольку она жестко "скреплена" с \vec{M} .

2. Поведение свободного гироскопа и гироскопа с двумя степенями свободы

Если центр масс тела гироскопа совмещен с центром карданова подвеса (см. рис. 1), момент сил тяготения относительно этой точки будет равен нулю. Такой гироскоп называется свободным, и согласно уравнению моментов (1) его момент импульса $\vec{M} = \text{const}$. В результате ось тела гироскопа не будет изменять своей ориентации в инерциальной системе отсчета.

Свободный гироскоп не реагирует на кратковременные воздействия и является "непослушным", т.е. при давлении на ось гироскопа она перемещается в направлении, перпендикулярном силе давления.

При закреплении наружного кольца (см. рис. 1) гироскоп лишается возможности вращения вокруг оси $C'C''$ и называется гироскопом с двумя степенями свободы. В отличие от свободного гироскопа данный гироскоп является "послушным" и "выстраивает" свою ось вращения по направлению оси вращения платформы, на ко-

торой он установлен. Такое поведение свободного гироскопа и гироскопа с двумя степенями свободы легко объясняется приближенной теорией.

3. Прецессия гироскопа

Медленное, по сравнению с собственным вращением, движение оси гироскопа называется прецессией.

В лабораторной установке прецессия вызвана в основном действием груза массы m , закрепленного на стержне, который заворачивается в защитный чехол тела гироскопа (см. рис. 2 и рис. 4)

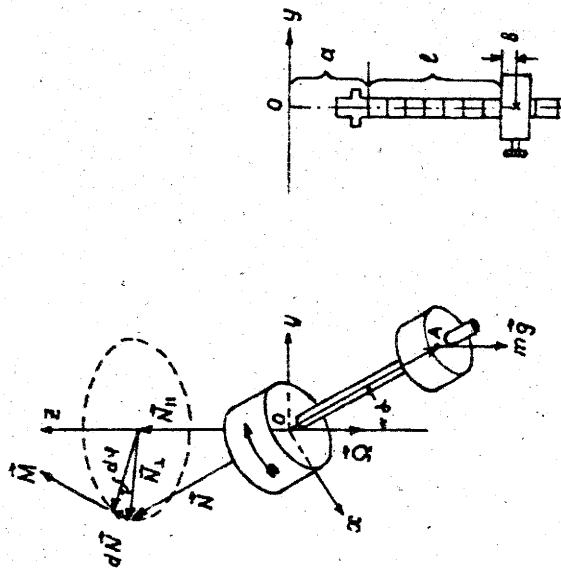


Рис. 2

Запишем уравнение моментов (1) относительно центра масс гироскопа (см. рис. 2)

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{N} = l \vec{OA} \, m \, g \quad (2)$$

Как следует из рис. 2, момент силы тяготения $m \vec{g}$ ортогонален моменту импульса, и, следовательно, действие этой силы не изменяет модуля \vec{N} , а вызывает только его поворот.

Представим вектор \vec{N} в виде суммы двух составляющих $\vec{N} = \vec{N}_{||} + \vec{N}_{\perp}$, где вектор $\vec{N}_{||}$ направлен вдоль, а \vec{N}_{\perp} - перпендикулярно оси Oz . С течением времени \vec{N} остается неизменным, а конец вектора \vec{N}_{\perp} описывает окружность радиуса $N_{\perp} = N \sin \alpha$. За малый промежуток времени dt вектор \vec{N}_{\perp} повернется на угол

$$d\varphi = \frac{dN}{N_{\perp}} = \frac{N \, dt}{N \sin \alpha}$$

Угловая скорость его поворота, а, следовательно, и поворота вектора \vec{N} будет равна

$$\Omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{N}{N \sin \alpha} \quad (3)$$

Так как $N = OA \, m \, g \sin \alpha$, а $N = I \omega$, то

$$\Omega = \frac{m \, g \, OA}{I \omega}$$

Найденная угловая скорость поворота вектора \vec{N} , согласно приближенной теории гироскопа, является угловой скоростью его прецессии. Из выражения (3) следует, что эта скорость не зависит от угла прецессии α .

Представляет интерес исследование зависимости периода прецессии $T = 2\pi / \Omega$ от положения груза m на стержне. Как правильно, трудно измерить расстояние OA от центра карданового подвеса до центра груза. В эксперименте (см. рис. 2) при изменении положения груза целесообразно фиксировать расстояние l (от верхней риски на стержне до верхней плоскости груза). С введением этого расстояния l уравнение (3) преобразуется в следующее:

$$\frac{2\pi}{T} = \frac{m \, g \, l + m \, g \, (a + b)}{I \omega} \quad (4)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{A l + B}{I \omega} \quad (5)$$

$$A = \frac{m \, g}{2\pi I \omega}, \quad B = \frac{m \, g \, (a + b)}{2\pi I \omega}$$

Изменяя положение груза, фиксируя l и измеряя период прецессии T , можно построить экспериментальный график зависимости (5). По графику, зная m и ω , нетрудно определить момент инерции тела гироскопа.

4. Лабораторная установка

Блок-схема лабораторной установки приведена на рис. 3.

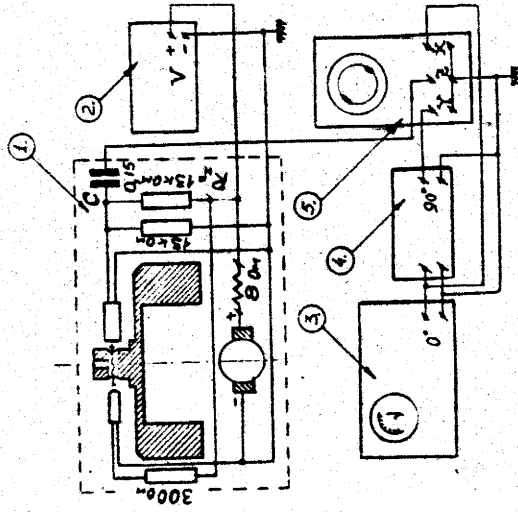


Рис. 3:
1-гироскоп;
2-блок питания;
3-генератор \sin -сигнала;
4-фазовращатель;
5-осциллограф

Конструкция гироскопа, находящегося в кардановом подвесе и установленного на вращающейся платформе, позволяет изучать поведение свободного гироскопа, гироскопа с двумя степенями свободы и провести некоторые исследования прецессии.

Основные детали гироскопа изображены на рис. 4, а на рис. 5 показана его центральная часть:

Телом гироскопа в основном служит маховичок 1 в виде полного стального цилиндра (см. рис. 5). Конкретные размеры цилиндра приведены в таблице на вращающейся платформе.

Ось маховичка вращается в двух шариковых подшипниках, смонтированных в латунную втулку 2, которая закреплена в одной из половин защитного чехла 3, выточенного из оргстекла.

Маховичок приводится во вращение электродвигателем постоянного тока 4, закрепленным во второй половине защитного чехла.

Защитный чехол 3 является внутренней обоймой карданова подвеса гироскопа. Он вращается на шариковых подшипниках, посаженных на полуоси 5, которые смонтированы в наружную обойму (позиция 7 на рис. 4).

Полуоси наружной обоймы закреплены в стойке 9, которая установлена на вращающейся платформе 10. На стойке 9 имеется заделка 8, с помощью которой можно зафиксировать наружную обойму. При этом свободный гироскоп становится гироскопом с двумя степенями свободы.

При изучении прецессии гироскопа целесообразно вращаться платформу закрепить зажимным винтом 11.

В задании по исследованию прецессии необходимо знать частоту собственного вращения тела гироскопа ω . Для измерения этой частоты в диаметральном отверстии колпачка (позиция 6 на рис. 5) установлены излучатель света 7 (светодиод АЛ-107) и фотоприемник 8 (фототранзистор ФТ-2КБ).

Модулятором светового потока, поступающего на фотоприемник, служит отверстие, просверленное в оси маховичка (см. рис. 3). Через это отверстие световой поток двояды за период поворота оси попадает на фототранзистор. Спротивление фототранзистора при этом резко уменьшается и на его нагрузочном сопротивлении R_n вырабатывается импульс напряжения отрицательной полярности,

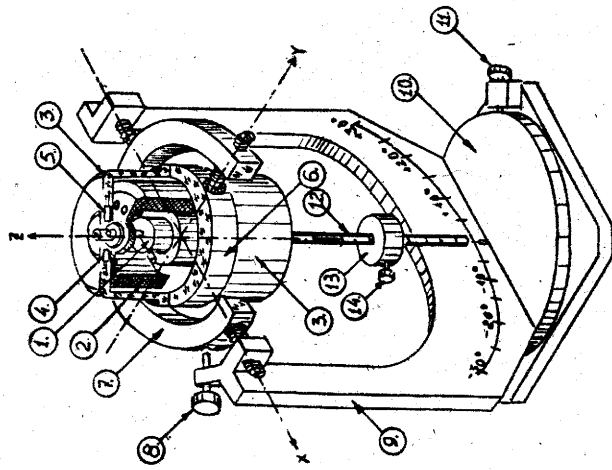


Рис. 4:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1-электродвигатель; | 8-защелка; |
| 2-маховичок; | 9-стойка; |
| 3-защитный чехол; | 10-платформа; |
| 4-светодиод; | 11-зажим платформы; |
| 5-фототранзистор; | 12-стержень; |
| 6-внутренняя обойма; | 13-груз; |
| 7-наружная обойма; | 14-зажим груза |

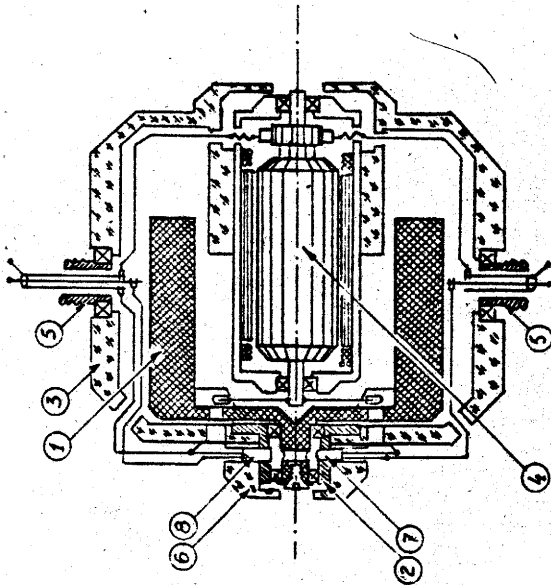


Рис. 5:

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1-маховичок; | 5-полуось; |
| 2-втулка; | 6-колодки; |
| 3-чехол; | 7-светодиод; |
| 4-электродвигатель; | 8-ототранзистор |

который через конденсатор С поступает на вход "Z" осциллографа (вход, управляющий яркостью луча электронно-лучевой трубки).

Частота вращения маховичка находится путем сравнения частоты синусоидального сигнала вырабатываемого генератором с частотой следования электрических импульсов, поступающих на вход "Z" осциллографа (см. рис. 3).

Сигнал с выхода генератора подается на вход "X" осциллографа, а с фазовращателя, который вносит сдвиг фаз " $\pi/2$ ", на вход "Y". При этом луч на экране осциллографа будет иметь смену

$$x = X \cos \omega t,$$

$$y = Y \sin \omega t,$$

(6)

где $\omega = 2\pi\nu$ - циклическая частота (ν - частота на шкале генератора), X и Y - амплитуды смещения луча, определяемые амплитудами синусоидальных напряжений, поступающих на входы "X", "Y", и коэффициентами усиления этих каналов.

Согласно (6) луч на экране осциллографа будет "богаты" с частотой ν по эллипсу, уравнение которого имеет вид:

$$\frac{x^2}{X^2} + \frac{y^2}{Y^2} = 1. \quad (7)$$

Регулировкой усиления либо по X, либо по Y можно получить траектории луча в виде окружности.

Нетрудно установить, что при наличии двух "неподвижных" засветок на наблюдаемом на экране эллипсе частота сигнала совпадает с частотой собственного вращения гироскопа.

Следует отметить, что электрический ток в статорную и роторную обмотки электродвигателя и электропитание фотопары подводятся через скользящие контакты, которые установлены на полусах внутренней и наружной обойм. Трение в этих контактах приводит к сравнительно быстрому затуханию прецессии.

Для создания вынуждающего момента сил, который вызывает прецессию гироскопа, в защитный чехол гироскопа ввертывается стержень с перемещаемым по нему грузом (см. позиции 12, 13 на рис. 4). Груз на стержне закрепляется зажимным винтом 14.

ЗАДАНИЕ

1. Исследовать поведение свободного гироскопа.
 - 1.1. Вывернуть стержень с грузом, освободить наружную ось и вращаться платформу (позиции 12, 8 и 11 на рис. 4).
 - 1.2. "Разогнать" гироскоп, а именно, придерживая его рукой, включить блок питания электродвигателя гироскопа (Требуемое направление ω указано на платформе).
 - 1.3. Осторожно вращая платформу, следить за ориентацией осей гироскопа.
 - 1.4. Исследовать "непослушность" свободного гироскопа, а именно, наблюдать направление отклонения осей гироскопа при надавливании на защитный чехол.
2. Исследовать поведение гироскопа с двумя степенями свободы.
 - 2.1. Закрепить наружную ось (защелка 8 на рис. 4).
 - 2.2. Предсказать поворот оси гироскопа при определенном вращении платформы и О С Т О Р О Ж Н О ! вращая платформу, наблюдать за этим поворотом.
 - 2.3. Убедиться в "послушности" гироскопа с двумя степенями свободы.
3. Исследовать прецессию гироскопа.
 - 3.1. Подготовить гироскоп к наблюдению прецессии: ввернуть стержень с грузом m , закрепить вращающуюся платформу (позиции 11, 12 на рис. 4), и "разогнать" гироскоп. Включить генератор синусоидальных сигналов и осциллограф (см. рис. 3).
 - 3.2. Оценить теоретически и измерить частоту собственного вращения тела гироскопа ω .
С этой целью:
 - а) рассчитать момент инерции тела гироскопа I согласно чертежу, приведенному на платформе;
 - б) закрепить груз на стержне (желательно в нижнем положении и измерить период прецессии T ;
 - в) оценить "на глаз" расстояние от центра груза до центра карданова подвеса OA (см. рис. 2);
 - г) по найденным I , T и OA рассчитать ω ;

- д) установить на шкале генератора синусоидальных сигналов частоту $\nu = \omega/2\pi$ и плавной подстройкой частоты генератора получить неподвижную картинку двух засветов на экране, наблюдаемом на экране осциллографа.
- 3.3. Выполнить измерения периода прецессии $T_{пр}$ при различных положениях груза m (но не менее 5 положений) при двух частотах вращения тела гироскопа (напряжения питания электродвигателя V_1 и V_2 указаны на платформе). Частоту вращения контролировать в начале и в конце опыта. В лабораторной установке прецессия затухает сравнительно быстро, поэтому первый период прецессии целесообразно замерить по 2-3 оборотам, повторяя опыт не менее 3-х раз. Результаты измерения $T_{пр}$ (1) занести в таблицу и построить график $1/T_{пр}$ от l .
- 3.4. Проанализировать полученные графики, уточнив значения коэффициентов A и B , входящих в выражение (5). Использовать графики, вычислить момент инерции тела гироскопа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д. В. Основы курса физики. Т. 1. Механика. М.: Наука, 1989. С. 287-320.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1987. С. 161-167.