

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н.Э.Баумана**

Специализированный учебно-научный центр

Лицей №1580 при МГТУ имени Н.Э. Баумана

Кафедра "Основы физики"

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

11 класс

**Магнитные явления.
Осциллограф.
Гироскоп.**

Сборник содержит описания лабораторных работ, выполняемых в лаборатории кафедры «Основы физики» Специализированного учебно-научного центра МГТУ имени Н.Э. Баумана и в лицее № 1580 при МГТУ имени Н.Э.Баумана) учащимися 11^х классов.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Сборник может быть интересен учащимся старших классов средних школ, лицеев и гимназий с углубленным изучением физики, слушателей подготовительных отделений ВУЗов.

Издано в соответствии с планом редакционно-издательской работы кафедры «Основы физики» Специализированного учебно-научного центра МГТУ имени Н.Э. Баумана

Составители сборника:

Раздел "Магнитные явления" -

А.В.Кравцов

Раздел "Осциллограф" -

И.Н.Фетисов

Раздел "Гироскоп" -

В.И.Гребенкин

Под редакцией Т.С. Цвезинской и И.Н.Грачевой

©Лицей № 1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана
© МГТУ им. Н. Э. Баумана

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Маг-1

Измерение магнитной индукции.

1. Цель работы

Измерение магнитной индукции вблизи полюса постоянного магнита.

2. Основные теоретические сведения

Измерение магнитной индукции в данной работе основывается на явлении электромагнитной индукции. В соответствии с законом Фарадея - Ленца, в замкнутом контуре при изменении магнитного потока возникает индуктивный ток. Э.Д.С. индукции определяется как:

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Где $\Delta \Phi$ - изменение магнитного потока, связанного с контуром;

Δt - промежуток времени, за который произошло изменение магнитного потока;

N - число витков в контуре.

Разделив обе части выражения (1) на значение R электрического сопротивления контура, получим значение индукционного тока. При дальнейшем рассмотрении нас будет интересовать модуль значения индукционного тока

$$I = \frac{N \cdot \Delta \Phi}{R \cdot \Delta t} \quad (2)$$

За время Δt через контур пройдёт заряд

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t = \frac{N \cdot \Delta \Phi}{R} \quad (3)$$

Если до начала опыта контур находился в поле постоянного магнита, а в процессе опыта магнит был удалён на достаточно большое расстояние, то начальный магнитный поток

$$\Phi = B \cdot S \quad (4)$$

где B - значение магнитной индукции поля, создаваемого постоянным магнитом;

S - площадь контура.

Конечное значение магнитного потока равно нулю, и

$$\Delta \Phi = B \cdot S \quad (5)$$

Тогда заряд можно рассчитать как

$$\Delta Q = \frac{N \cdot B \cdot S}{R} \quad (6)$$

а искомое значение магнитной индукции как

$$B = \frac{\Delta Q \cdot R}{N \cdot S} \quad (7)$$

Магнитная индукция, создаваемая в торце соленоида длиной l , радиусом r , по N виткам которого протекает ток I , рассчитывается как

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \sqrt{r^2 + l^2}} \quad (8)$$

3. Методика проведения эксперимента

Для измерения заряда, прошедшего через соленоид при изменении магнитного потока, связанного с этим соленоидом, используется установка, схема которой приведена на рис.1. Постоянный магнит M помещается внутрь соленоида S , а затем достаточно быстро выдвигается из соленоида (начинать выдвигать магнит следует, когда стрелка гальванометра G находится в нулевом положении). По максимальному отклонению стрелки гальванометра определяется прошедший по цепи заряд. Постоянная гальванометра $C_g = 27$ мкКл/дел.

Измерение сопротивления контура производится омметром Ω , включенным по схеме, приведенной на рис.2.

Для расчета магнитной индукции по выражению (7) необходимо знать число витков соленоида N . Это значение неизвестно. Для его определения воспользуемся следующим примером. Магнитная индукция \vec{B} является силовой характеристикой магнитного поля и определяется силой, действующей на некоторый пробный элемент тока. Равенство (векторное!) сил, действующих на один и тот же пробный элемент тока, свидетельствует о равенстве значений магнитной индукции \vec{B} . В качестве пробного элемента тока в работе используется образец из ферромагнитного материала.

В соответствии с гипотезой Ампера и современными представлениями о магнитных свойствах вещества, электроны в оболочке атомов вещества движутся по орбитам, которые при качественном рассмотрении явления можно считать круговыми, при этом как бы вращаясь вокруг своей оси (более точное рассмотрение движения электрона в атоме выходит за рамки курса элементарной физики). Говорят, что электрон совершает орбитальное и спиновое движение. Каждый электрон как круговой ток создаёт орбитальное магнитное поле и, вследствие собственного вращения, спиновое магнитное поле. В некоторых веществах кристаллического строения возникают усло-

вия для параллельной ориентации векторов магнитной индукции спино-
вых магнитных полей. Это приводит к появлению доменов - облас-
тей самопроизвольной намагниченности размерами порядка единиц
или десятков микрометров. При наличии внешнего магнитного поля
направления векторов магнитной индукции доменов ориентируются
параллельно вектору магнитной индукции внешнего поля. Ферромаг-
нитный образец можно считать в этом случае некоторым пробным
круговым током.

Для расчета числа витков соленоида с помощью выражения
(8) пропустим через соленоид ток I и создадим в соленоиде магнитное
поле, значение магнитной индукции которого в торце соленоида равно
значению магнитной индукции вблизи полюса постоянного магнита.
Тогда для числа витков получим

$$N = \frac{2 \cdot B \cdot \sqrt{r^2 + l^2}}{M \cdot I} \quad (9)$$

Подставим это выражение в (7) и получим для искомой магнитной
индукции

$$B = \sqrt{\frac{\Delta Q \cdot R \cdot \mu_0 \cdot I}{2 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{r^2 + l^2}}} \quad (10)$$

Где $r=2, 2 \cdot 10^{-2}$ м - радиус соленоида,

$l=7, 5 \cdot 10^{-2}$ м - длина соленоида,

a, b - размер торца магнита.

Для экспериментального определения значения магнитной индук-
ции используется установка, схема которой приведена на рис.3. Фер-
ромагнитный образец, на нижней грани которого приклеена картонная
прокладка, подвешен на пружине. Под образец помещается исследуе-
мый постоянный магнит M так, чтобы он касался нижней грани образ-
ца. Экспериментатор держит рукой магнит и плавно опускает его вниз,
растягивая пружину. Когда сила упругости пружины станет равна силе
взаимодействия магнита и образца, образец оторвется от магнита.
Следует зафиксировать положение образца в этот момент с помощью
линейки. Затем под образец помещается соленоид S и через него про-
пускается ток от источника ИП. Значение силы тока выбирается та-
ким, чтобы образец занял то же положение, что и при отрыве от маг-
нита. Полученные значение подставляется в выражение (10). Размеры
магнита измеряются линейкой или штангенциркулем.

4. Содержание отчёта

Отчет составляется по общепринятой форме и в обязательном порядке
содержит схемы установок, расчетные соотношения, полученные экс-
периментальные результаты и результаты расчетов.

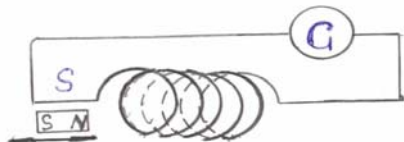


Рис.1. Схема установки для

измерения заряда

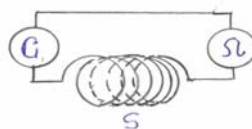


Рис.2. Схема установки

для измерения сопротивления

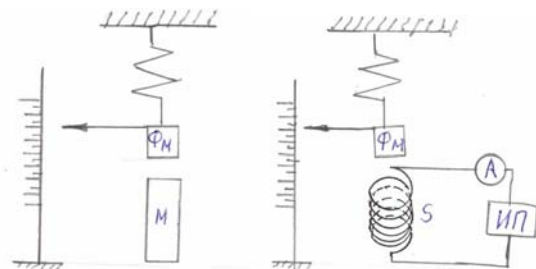


Рис.3. Схема установки для сравнения значений магнитной индукции.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № ОСЦ-1

Изучение электронного осциллографа

Электронный осциллограф - замечательный прибор для изучения быстро изменяющихся электрических сигналов и измерения малых интервалов времени. Быстрые неэлектрические процессы также изучают с помощью осциллографа, преобразовав неэлектрическую величину в электрическое напряжение. Например, звуковые колебания воздуха с помощью микрофона преобразуются в переменное электрическое напряжение.

1. Электронно-лучевая трубка.

Главным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Простейшего типа трубка схематически изображена на рис.1. Трубка состоит из откачанной до высокого вакуума стеклянной колбы, внутри которой помещаются ряды металлических электродов с выводами. Катод К, нагреваемый до красного каления электрической спиралью С, является источником электронов. Испускание электронов нагретыми телами называется термоэлектронной эмиссией. Вокруг катода располагается управляющий электрод, назы-

ваемый модулятором, цилиндрической формы с отверстием в доньшке. Этот электрод служит для изменения плотности потока электронов, проходящего через отверстие модулятора. На модулятор подается отрицательное относительно катода напряжение V_m десятки вольт. С увеличением этого напряжения все больше электронов возвращаются на катод. При некотором отрицательном потенциале модулятора трубка "запирается", так как дальше модулятора электронов в трубке нет. Следующие два электрода, также цилиндрической формы, являются анодами. На втором аноде A_2 положительный потенциал относительно катода бывает от одного до нескольких киловольт; на первом аноде A_1 потенциал в несколько раз меньше. Внутри анодов имеются перегородки с отверстиями. Под действием ускоряющего поля анодов электроны приобретают значительную скорость. Аноды выполняют и другую важную функцию - сфокусировать пучок электронов, т.е. собрать электроны на экране в маленькое пятно. Фокусировка осуществляется электрическим полем анодов, имеющим специальную конфигурацию. Движение электронов в этих полях имеет много общего с поведением света в линзах. Описанная часть трубки образует электронную пушку, в которой электроны испускаются, разгоняются и фокусируются.

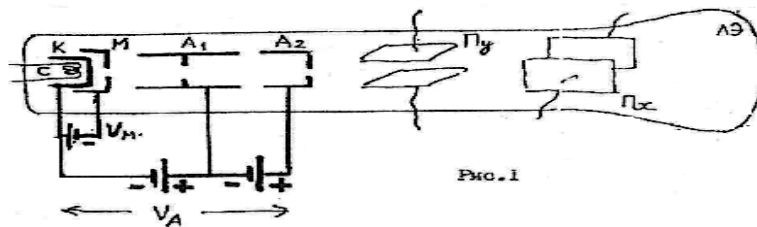


Рис. 1

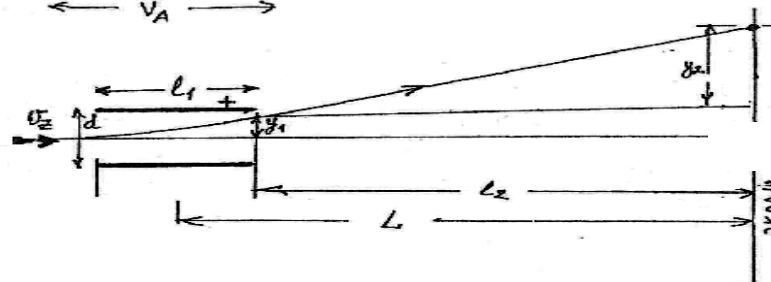


рис. 2

Узкий пучок электронов падает на люминесцентный экран - слой веществ, нанесенных на внутреннюю поверхность колбы и способных излучать свет под ударами электронов.

На пути электронного луча поставлены под прямым углом друг к другу две пары отклоняющих пластин Π_y и Π_x . Напряжение, подведенное к ним, создает электрическое поле, отклоняющее элек-

тронный луч в сторону положительно заряженной пластины. Поле пластин является для электронов поперечным. В таком поле электроны движутся по параболическим траекториям, а, выйдя из поля, далее движутся по инерции прямолинейно, то есть электронный луч получает угловое отклонение. Чем больше напряжение на пластинах, тем сильнее отклоняется луч и тем больше смещается на люминесцентном экране светящееся пятно, возникающее от ударов электронов.

Пластины Пу отклоняют луч по вертикали и называются пластинами вертикального отклонения, а пластины Пх являются пластинами горизонтального отклонения.

2. Отклонение луча электрическим полем.

Второй анод имеет положительный потенциал V_a относительно катода, поэтому электроны попадают в область отклоняющих пластин со скоростью U_z , которая дается соотношением

$$\frac{1}{2} m U_z^2 = e V_a. \quad (1)$$

Здесь m - масса электрона, e - модуль его заряда ($m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

В правой части записана работа сил электрического поля по перемещению заряда e на участке с разностью потенциалов V_a . Начальная энергия электронов, с которой они покидают катод, пренебрежимо мала.

Если V - разность потенциалов между отклоняющими пластинами, расстояние между которыми d , то напряженность поперечного электрического поля $E = V/d$. В таком поле электрон движется с постоянным поперечным ускорением и при вылете из пластин приобретает поперечную скорость. Например, в направлении оси y :

$$U_y = e E t / m = e V L / m d U_z, \quad (2)$$

где t - время пребывания электрона в поле между пластинами, равное длине пластин L , деленной на продольную скорость U_z электрона.

При вылете из пластин смещение электрона равно $y = U_y t / 2$. Далее электрон движется прямолинейно и на участке длиной L_2 от края пластин до экрана дополнительно сместится на величину $y_2 = U_y t_2$, где $t_2 = L_2 / U_z$ - время полета электрона от пластин до экрана.

На люминесцентном экране смещение электронного луча равно

$$y = y_1 + y_2 = U_y L_1 / 2 U_z + U_y L_2 / U_z = U_y / U_z L, \text{ где}$$

$L = L_1 / 2 + L_2$ - расстояние от центра пластин до экрана.

Принимая во внимание вышеуказанные формулы (1) и (2), получаем

$$y = V / V_a L_1 L / 2 d. \quad (3)$$

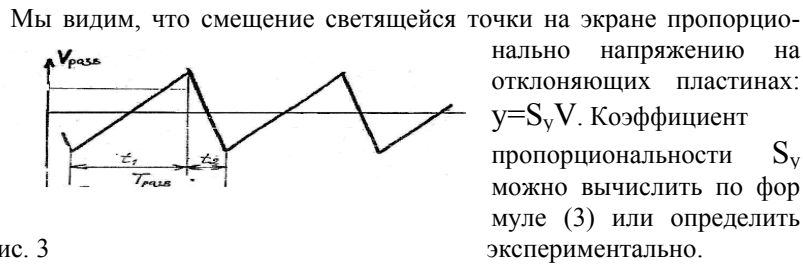


рис. 3

3. Наблюдение зависимости напряжения от времени

Для получения на экране трубки графической зависимости напряжения V от времени t к пластинам Π_y подводят исследуемое напряжение $V(t)$, а к пластинам Π_x - напряжение развертки $V_{разв.}$, имеющее пилообразную форму (см. рис.3) и получаемое от специального генератора в составе осциллографа. Это напряжение осуществляет временную развертку. В течение времени t_1 (см. рис.3), когда напряжение растет по линейному закону, электронный луч равномерно движется по горизонтали слева направо, то есть делает прямой (рабочий) ход. При резком уменьшении напряжения в течение времени t_2 луч делает быстрый обратный ход. Чтобы не мешать наблюдениям, на время обратного хода луч запирается подачей специального импульса на модулятор. Когда исследуемое напряжение отсутствует, на экране видна горизонтальная светящаяся линия, играющая роль оси времени. Если подать исследуемое переменное периодическое напряжение на пластины Π_y , то пятно на экране одновременно будет совершать по вертикали и повторяющееся равномерное движение с обратным ходом

по горизонтали. В результате наблюдается светящаяся кривая исследуемого напряжения. На рис.3а показаны две осциллограммы синусоидального напряжения, но можно наблюдать периодические сигналы любой формы.

(Непериодический переменный сигнал наблюдается в течение одного цикла развертки). Чтобы кривая была неподвижной, период

один $T_{разв}$ напряжения развертки должен быть равен периоду T исследуемого напряжения или в целое число раз больше его: $T_{разв} = nT$, где n - целое число. Соответственно частота развертки $V_{разв} = 1/T_{разв}$ должна быть в целое число раз меньше час-

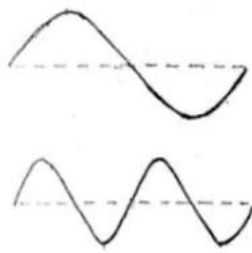


РИС. 3

а

б

тоты исследуемого напряжения $V_{разв} = V/n$. Тогда за время $T_{разв}$ произойдет целое число колебаний исследуемого сигнала и в конце обратного хода пятно на экране окажется в том месте, откуда оно начало двигаться во время прямого хода. На рис.4 показаны наблюдаемые осциллограммы для двух случаев, когда $T_{разв} = T[n=1]$ (кривая а) и когда $T_{разв} = 2T$ ($n=2$) (кривая б). Подбор значения n производится изменением частоты развертки генератора. Если n не будет целым числом, то осциллограмма не останется неподвижной и вместо одной кривой наблюдается несколько, что неудобно. Подбранное целое число n обычно сохраняется лишь короткое время, так как генератор развертки имеет нестабильную частоту, да и частота исследуемого напряжения также может изменяться.

Для упрощения рисунка полагаем, что время обратного хода пренебрежимо мало ($t_2 \ll t_1$).



Описанный выше режим работы развертки, называемый автоколебательным, неудобен. Для сохранения выбранного значения n синхронизацию генератора развертки. Синхронизация состоит в том, что исследуемое напряжение подводится не только к пластинам Y, но и к генератору развертки и заставляет его генерировать пилообразное

напряжение с частотой, меньшей в целое число раз, чем частота исследуемого напряжения. Рис.4 поясняет процесс синхронизации. Пусть исследуемое напряжение V - синусоидальное. Когда оно достигнет заданного значения $V_{зап}$, оно запускает прямой ход развертки (рис.4). Момент запуска отмечен точкой 1 на рис.4. Величина $V_{зап}$ называется уровнем запуска развертки, ее значение и полярность можно изменять с помощью регулятора УРОВЕНЬ. На время прямого и обратного хода луча запуск генератора развертки блокируется. Следующий прямой ход развертки начнется в точке 2. Теперь период развертки складывается из времени t_1 прямого хода, t_2 обратного хода и времени ожидания t_3 : $T_{разв} = t_1 + t_2 + t_3$. Условие синхронизации $T_{разв} = nT$ достигается автоматически изменением времени t_3 . Такой режим работы развертки называется ждущим. Наблюдаемая на экране

осциллограмма показана на рис.4. (Определите, какому значению n она соответствует.)

4.1 Осциллограф С1-118А

Двухканальный электронный осциллограф С1-118А предназначен для исследования формы и измерения параметров периодических электрических сигналов амплитудой от 5 мВ до 40 В и длительностью от 80 нс до 0,5 с, а также для сопоставительного исследования двух синхронных сигналов путем визуального наблюдения. Напомним, что 1 нс (наносекунда) - это 10^{-9} с.

Осциллограф имеет два одинаковых канала вертикального отклонения - Y_1 и Y_2 . В каждом из них имеется усилитель сигнала, коэффициент усиления которого можно изменять переключателем "V/дел". С помощью этого переключателя можно изменять *коэффициент отклонения* b , численное значение которого равно напряжению, отклоняющему луч на одно крупное деление сетки на экране ЭЛТ. Если исследуемый сигнал отклоняет луч на u делений, то мгновенное значение напряжения равно $V = b_y \cdot u$. (4)

Например, для синусоиды максимальное отклонение $u = 3$ деления,

b_y - 5мВ/дел, тогда амплитуда равна 15 мВ.

Упрощенная электрическая схема усилителя приведена на рис.6. Исследуемый сигнал по коаксиальному кабелю, который достаточно хорошо защищает от внешних помех ("наводок"), подается на входное гнездо "-О 1 МΩ/20 pF".

Эта надпись указывает, что входное сопротивление усилителя осциллографа составляет 1 мегом, а входная емкость - 20 пикофарад.

Между входным гнездом и усилителем включен проходной конденсатор C достаточно большой емкости, который может быть закорочен переключателем " \sim/\equiv ". Осциллограф можно использовать в двух режимах.

В режиме открытого входа (в положении " \sim/\equiv " переключатель замкнут, проходной конденсатор закорочен) можно исследовать как переменное, так и постоянное напряжения. В режиме закрытого входа (в положении " \sim " переключатель разомкнут, конденсатор включен между входным гнездом и усилителем) на вход усилителя попадает только переменное напряжение. Этот режим удобен для исследования малого переменного сигнала, наложенного на сравнительно большое постоянное напряжение.

Упрощенная структурная схема двух каналов вертикального отклонения показана на рис.7. Возможны следующие режимы работы каналов:

- одноканальный режим канала Y1, когда переключатель "Y1" включен, а переключатель "Y2" выключен;
- одноканальный режим работы канала Y2 (аналогично);
- двухканальный режим, когда оба переключателя включены.

В двухканальном режиме отклоняющие пластины P_y ЭЛТ с помощью коммутатора каналов подключаются с достаточно большой частотой то к каналу Y1, то к каналу Y2. Здесь возможны два режима, которые устанавливаются переключателем " $\rightarrow \rightarrow / \text{---}$ ". В поочередном режиме " $\rightarrow \rightarrow$ " перед каждым прямым ходом развертки происходит переключение каналов. Поочередный режим используется для исследования двух синхронных сигналов при любых скоростях развертки. В прерывистом режиме " --- " в течение одного прямого хода происходит многократное переключение с одного канала на другой. Этот режим используется для исследования медленных сигналов при коэффициенте развертки (см. ниже) более 2 мс/дел.

4.2. Развертка и синхронизация

Скорость движения луча по горизонтали (оси x , или оси времени t) устанавливается двумя переключателями: "время/дел" и " $\mu\text{s}, \text{s}/\text{ms}$ ". Коэффициентом развертки $\tau_{\text{разв}}$ называется коэффициент пропорциональности между временем t и смещением X луча по горизонтали

$$T = x \tau_{\text{разв}}$$

Коэффициент развертки устанавливается ступенями от 0,02 мкс/дел до 50 мс/дел. Численное значение коэффициента развертки устанавливается переключателем "время/дел", а единицы времени выбираются переключателем " $\mu\text{s}, \text{s}/\text{ms}$ ".

В приборе обеспечивается автоколебательный режим работы развертки, переходящий в ждущий режим при подаче сигналов синхронизации. Синхронизация развертки может осуществляться исследуемым сигналом по каналам Y1 или Y2 или внешним сигналом, подаваемым на гнездо " $\rightarrow \text{O синхр.}$ ". Когда переключатель "ВНУТР/ВНЕШ" установлен в положение "ВНУТР", для синхронизации используется исследуемый (внутренний) сигнал того или иного канала, устанавливаемого переключателем "Y1/Y2". Ручкой "УРОВ" устанавливают уровень запуска развертки.

Уровнем запуска является значение сигнала канала или внешнего сигнала, при котором происходит срабатывание генератора ждущей развертки.

Переключателем " $\square \square \square \square$ " устанавливается полярность запускающего сигнала.

4.3. Органы управления и подключения

Таблица 3.1

Органы управления и подключения	Назначение	Исходное положение
Кнопка "Сеть"	Включение прибора	Не нажата
Ручка "О"	Регулирование фокусировки	Среднее
Ручка "О"	Регулирование яркости	Крайнее левое
Гнезда "→0 1M/20pF"	Входы каналов Y1 и Y2	-
Переключатель "V/ДЕЛ"	Установка коэффициента отклонения каналов Y1 и Y2	"1"
Ручки " "	Смещение луча по вертикали каналов Y1 и Y2	Среднее
Переключатель "ВРЕМЯ/ДЕЛ"	Установка коэффициентов развертки	"2"
Ручка "↔"	Смещение луча по горизонтали	Среднее
Переключатели	Установка открытого или закрытого входов каналов вертикального отклонения	"≡" "≡/≡"
Переключатель "→→/—"	Переключение режимов коммутации	"→→"
Переключатель "Y1"	Включение канала Y1	Нажат
Переключатель "Y2"	Включение канала Y2	Нажат
Переключатель "μs/ms"	Грубое переключение коэффициента развертки	"ms"
Переключатель "┐┐┐┐┐┐"	Переключение полярности сигнала, запускающего развертку	"┐┐┐┐"
Переключатель "Y1/Y2"	Переключение внутренней синхронизации сигналом канала Y1 или Y2	"Y1"
Переключатель ВНУТР/ВНЕШ	Переключение режима синхронизации	ВНУТР
Переключатель ТВ/НОРМ	Переключение режима запуска развертки	"НОРМ"

Ручка "УРОВ"	Установка уровня запуска развертки	Среднее
Гнездо "→О СИНХР"	Подключение сигнала внешней синхронизации	—

5. Выполнение работы

Упражнение 1. Ознакомиться с устройством электронно-лучевой трубки, имеющейся в лаборатории.

Упражнение 2. Ознакомиться с органами управления осциллографа С1-118.

1. Включить осциллограф, нажав кнопку "СЕТЬ".
2. Установить переключатель "ВНУТР/ВНЕШ" в положение "ВНУТР", а переключатель "ТВ/НОРМ" - в положение "НОРМ".
3. Включить канал "Y1", нажав переключатель "Y1", при этом второй канал должен быть выключен (переключатель "Y2" отжат). Сигнал на вход не подавать.
4. Ручкой " \updownarrow " первого канала вывести светящуюся горизонтальную линию на середину экрана.
5. Ознакомиться с регулировкой яркости и фокусировки.
6. Ознакомиться с регулировкой смещения луча по горизонтали.
7. Ознакомиться с работой развертки от самой медленной, когда видно движение светящегося пятна, до быстрой.

Упражнение 3. Измерение постоянного напряжения.

1. На вход первого канала подать небольшое постоянное напряжение (порядка нескольких вольт) от регулируемого источника постоянного напряжения.
2. Переключатель " \sim/\sim " установить в положение " \sim ".
3. Наблюдайте смещение по вертикали линии развёртки при изменении напряжения, а также при изменении полярности сигнала. Измерьте напряжение, определив смещение y по вертикали и вычислив напряжение по формуле (4). Сравните полученный результат с показанием вольтметра источника питания, если он имеется.

Упражнение 4. Наблюдение медленных непериодических сигналов.

Это упражнение является продолжением предыдущего с тем же источником напряжения. Установить самую медленную развертку. Можно наблюдать непериодический сигнал, если быстро изменять напряжение источника питания, вращая ручку по часовой стрелке и обратно.

Упражнение 5. Измерение параметров синусоидального сигнала.

1. С выхода генератора сигналов ГЗ-112 подать синусоидальный сигнал на вход первого канала осциллографа. По лимбу генератора

установить частоту 1000 Гц.

2. Установить коэффициент развертки 0,5 мс/дел.

3. Для синхронизации развертки органы управления должны находиться в следующих положениях:

"ВНУТР/ВНЕШ" в положении "ВНУТР";

"Y1/Y2" в положении "Y1".

Ручкой "УРОВ" добиться устойчивой синхронизации изображения.

4. Наблюдайте осциллограмму при различных коэффициентах развертки, как больших, так и меньших 0,5 мс/дел. Выбрать оптимальный коэффициент развертки (например, 0,5 мс/дел).

5. Наблюдайте осциллограмму при различном коэффициенте отклонения вертикального канала, изменяемого переключателем "V/ДЕЛ". Выбрать оптимальный коэффициент.

6. Зарисовать осциллограмму (см. Рис.5).

7. Измерить с помощью осциллографа период и частоту колебаний. Результаты измерений записать в таблицу 3.2 с указанием единиц величин. Найти период по формуле $T = xt/m$ и частоту $\nu = 1/T$ (здесь m-число периодов на отрезке длиной x).

Сравнить частоту по лимбу генератора и измеренную осциллографом.

Результаты осциллографических измерений					
Частота по лимбу генератора	X	T разв	m	$T=xt/m$	ν
1060 Гц					
100 кГц					
10 МГц					

7. Повторить измерения п.7 для других частот, указанных в табл.3.2.

8. Измерить амплитуду V_o синусоидального напряжения генератора при различной частоте. Результаты измерений и вычисления по формуле $V_o = b_y U_o$ записать в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Частота	U_o	b_y	V_o
1000 Гц			
100 кГц			
10 МГц			

Упражнение 6. Ознакомление с работой осциллографа в режиме без синхронизации развертки.

Цель данного упражнения - более глубокое понимание развертки, а также тех преимуществ, которые дает синхронизация.

1. Выключить синхронизацию исследуемым сигналом, установив переключатель "ВНУТР/ВНЕШ" в положение "ВНЕШ".

2. Установить коэффициент развертки 1 мс/деление, которому соответствует частота развертки в автоколебательном режиме $\nu = 60$ Гц.

3. Установить частоту генератора ГЗ-112 60 Гц. Немного изменяя частоту, добейтесь устойчивой неподвижной осциллограммы. На экране будет наблюдаться один период колебаний (фактически, немного меньше периода, так как часть периода развертки затрачивается на обратный ход).

4. Повторить наблюдения при частотах, которые в целое число раз превышают частоту развертки: 120 Гц, 180 Гц, 240 Гц и 300 Гц.

Упражнение 7. Измерение очень малой разности частот двух периодических колебаний.

Рассмотрим фазовый метод измерения малой разности частот двух колебаний. Обозначим частоту первого колебания ν , второго $\nu \pm \Delta\nu$. Первое колебание подадим на вход Y1, а второе на вход Y2 двухканального осциллографа. Развертку будем синхронизировать первым сигналом, при этом осциллограмма первого сигнала будет неподвижной, а второго - смещаться по горизонтали. Если частота второго сигнала больше, его осциллограмма будет смещаться влево; если частота меньше, то движение будет вправо. Предположим, что разность частот настолько мала, что относительное движение осциллограммы медленное. Пусть в некоторый момент времени, который примем за нуль, гребни обеих синусоид на оси времени совпали. Запишем уравнения колебаний

$$y_1 = A_1 \sin 2\pi\nu t, \quad y_2 = A_2 \sin 2\pi(\nu + \Delta\nu)t.$$

Следующее совпадение гребней произойдет через время t , за которое разность фаз двух колебаний изменится на $\pm 2\pi$:

$$2\pi(\nu + \Delta\nu)t - 2\pi\nu t = \pm 2\pi$$

Отсюда для модуля разности частот получаем $\Delta\nu = 1/t$

Выполнение упражнения. Установите частоту генераторов примерно 200 Гц, коэффициент развертки 1 мс/дел. Небольшим изменением частоты одного из генераторов добейтесь, чтобы осциллограмма смещалась медленно, на один период колебаний за время порядка 10 с или больше. Измерьте это время, результаты записать в табл.3.4.

Таблица 3.4

Частота ν	Время t	Разность частот $\Delta\nu = 1/t$

Прodelайте опыт при различных $\Delta\nu$.

Упражнение 8. Изучение когерентности двух генераторов.

Два колебания называются *когерентными*, если разность фаз этих колебаний не изменяется со временем. В предыдущем упражнении мы видели, что разность фаз изменялась, так как частоты двух генераторов немного различались. Строго говоря, такие колебания были не когерентны. Однако, полной когерентности двух независимых источников колебаний (или волн) добиться невозможно, поэтому часто задают вопрос, как долго такие колебания остаются примерно когерентными. Назовем *временем когерентности* $\tau_{\text{когер}}$ такое время, за которое разность фаз между двумя колебаниями изменяется на небольшую, заранее оговоренную величину, например, на $\Delta\varphi = \pi/2$, т.е. колебания разойдутся во времени на четверть периода.

Выполнение упражнения. Установите частоту 200 Гц обоих генераторов; добейтесь, чтобы частоты были как можно ближе. Затем измерьте время когерентности.

Если есть возможность, повторите опыт несколько раз.

6. Вопросы и домашние упражнения

1. Вычислить продольную скорость v электронов в электронно-лучевой трубке, взяв потенциал второго анода в интервале от 1 до 5 кВ (возьмите для расчета любое напряжение, отличающееся от крайних значений; так поступайте и с другими параметрами расчета).
2. По формуле (3) вычислите вертикальное смещение луча, приняв $V=1\text{В}$, $I=3\text{-}5\text{см}$, $d=10\text{-}15\text{мм}$, $L=10\text{-}25\text{см}$.
3. В тех же условиях рассчитать вертикальное ускорение электрона, сравнить его с ускорением свободного падения. Влияет ли ориентация трубки в поле силы тяжести на ее работу?

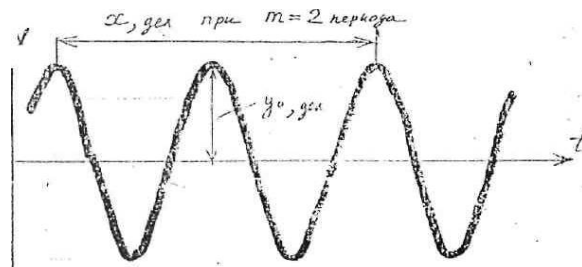


Рис.5

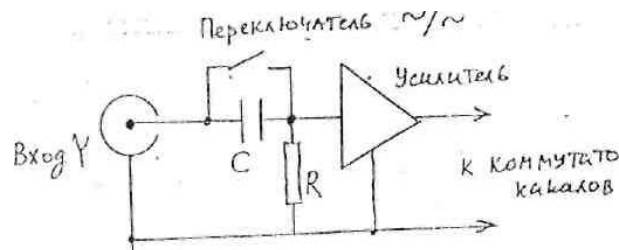
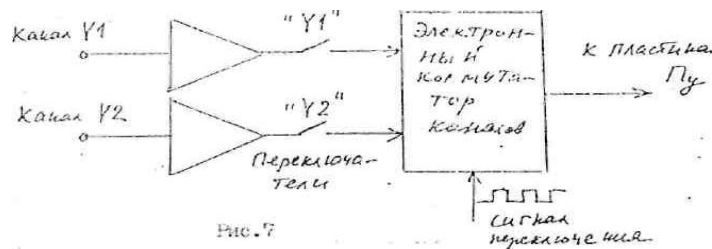


Рис.6.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № -Г-1 Гирискон.

1. Цель работы.

Целью лабораторной работы является исследование гироскопа.

Задачами работы являются :

- Определение скорости прецессии гироскопа и измерение угловой скорости вращения маховика гироскопа;
- Определение зависимости угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа;
- Определение зависимости скорости прецессии гироскопа от момента сил, приложенного к горизонтальной оси гироскопа.

2. Основные теоретические сведения.

Гироскоп (от **гиро...** и **...скоп**), быстро вращающееся твёрдое тело, ось вращения которого может изменять своё направление в пространстве. Гироскоп обладает рядом интересных свойств, наблюдаемых у вращающихся небесных тел, у артиллерийских снарядов, у детского волчка, у роторов турбин, установленных на судах, и др. На свойствах гироскопа основаны разнообразные устройства или приборы, широко применяемые в современной технике для автоматического управления движением самолётов, морских судов, ракет, торпед и др. объектов, для определения горизонта или географического меридиана, для изме-

рения поступательных или угловых скоростей движущихся объектов (например, ракет) и многое др.

Свойства гироскопа проявляются при выполнении двух условий:

1) ось вращения гироскопа должна иметь возможность изменять своё направление в пространстве;

2) угловая скорость вращения гироскопа вокруг своей оси должна быть очень велика по сравнению с той угловой скоростью, которую будет иметь сама ось при изменении своего направления.

Простейшим гироскопом является детский волчок, быстро вращающийся вокруг своей оси *OA* (*рис. 1*); ось *OA* может изменять своё положение в пространстве, поскольку её конец *A* не закреплен

У гироскопов, применяемых в технике, свободный поворот оси гироскопа можно обеспечить, закрепив её в рамках (кольцах) 1 и 2 так называемого карданова подвеса (*рис. 2*), позволяющего оси *AB* занять



Рис. 1. Волчок;

любое положение в пространстве. Такой гироскоп имеет 3 степени свободы: он может совершать 3 независимых поворота вокруг осей *AB*, *DE* и *GK*, пересекающихся в центре подвеса *O*, который остаётся по отношению к основанию неподвижным. Если центр тяжести гироскопа совпадает с центром *O*, то гироскоп называется астатическим (уравновешенным), в противном случае — тяжёлым.

OA — его ось, *P* — сила тяжести.

Первое свойство уравновешенного гироскопа с тремя степенями свободы состоит в том, что его ось стремится устойчиво сохранять в мировом пространстве приданное ей первоначальное направление. Если эта ось вначале направлена на какую-нибудь звезду, то при любых перемещениях основания прибора и случайных толчках она будет

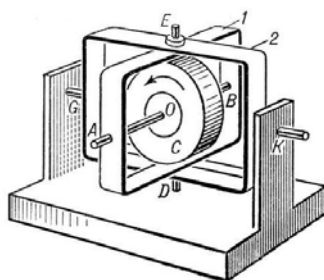


Рис. 2. Гироскоп в кардановом подвесе.

продолжать указывать на эту звезду, меняя свою ориентировку относительно земных осей. Впервые это свойство гироскопа использовал французский учёный Л. Фуко для экспериментального доказательства вращения Земли вокруг её оси (1852). Отсюда и само название «гироскоп», что в переводе означает «наблюдать вращение».

Второе свойство гироскопа обнаруживается, когда на его ось (или рамку) начинают действовать сила или пара сил, стремящиеся привести ось в движение (т. е. создающие вращающий момент относительно центра подвеса).

Ротор 0, кроме вращения вокруг своей оси АВ, может вместе с рамкой 1 поворачиваться вокруг оси DE и вместе с рамкой 2 — вокруг оси GK; следовательно, ось ротора может занять любое положение в пространстве.

0 — центр подвеса, совпадающий с центром тяжести гироскопа.

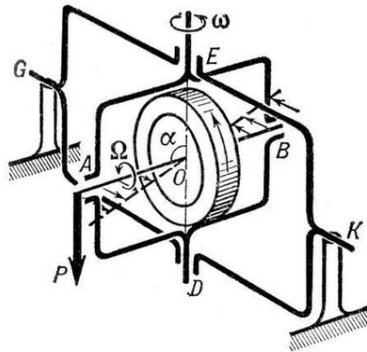


Рис. 3. Действие силы Р на гироскоп с вращающимся ротором.

Ось АВ движется перпендикулярно направлению Р.

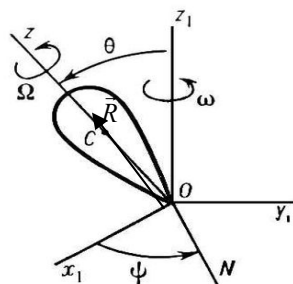


рис. 4

чем быстрее вращается вокруг своей оси АВ сам гироскоп. Если в какой-то момент времени действие силы прекратится, то одновременно прекратится прецессия и ось АВ мгновенно остановится, т. е. прецессионное движение гироскопа безынерционно.

Прецессия (позднелат. praecessio — движение вперед, от лат. praecedo — иду вперед, предшествую), то движение твёрдого тела, имеющего неподвижную точку 0, которое складывается из вращения с

угловой скоростью Ω вокруг оси Oz , неизменно связанной с телом, и вращения с угловой скоростью ω вокруг оси Oz_1 (см. рис. 4), где $Ox_1y_1z_1$ — оси, условно называются неподвижными, по отношению к которым рассматривается движение тела, ON — прямая перпендикулярная к плоскости z_1Oz , называется линией узлов, $\Psi = \angle x_1ON$ — угол прецессии.

Раскрутим осесимметричное тело — волчек массой m вокруг оси симметрии до угловой скорости Ω и поставим его на шероховатую плоскость так, что его ось и вертикаль образуют угол θ (рис.4). Ось волчка начинает вращаться вокруг вертикали. Найдем угловую скорость ω вращения оси — угловую скорость прецессии. Пусть $\vec{R}(t)$ — радиус-вектор центра масс, проведенный из точки касания с плоскостью. Очевидно, что $\vec{R}(t)$ — вектор постоянной длины. При $t=0$ момент импульса волчка можно представить в виде

$$\vec{L}(0) = \frac{L_0 \vec{R}_0}{R_0}, \quad (1)$$

где $\vec{R}_0 = \vec{R}(0)$, I_0 — момент инерции.

В соответствии с основным уравнением вращательного движения уравнение движения волчка имеет вид:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{R} \times m\vec{g} \quad (2)$$

Кинетическая энергия вращательного движения волчка много больше потенциальной энергии, следовательно величина момента импульса можно считать постоянной. В этом приближении $\vec{L} = \frac{L_0 \vec{R}_0}{R_0}$ (3)

Тогда
$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{L_0}{R_0} \times \vec{\omega} \times \vec{R} \quad (4)$$

Из уравнения движения получим
$$\frac{L_0}{R_0} \times \vec{\omega} \times \vec{R} = \vec{R} \times m\vec{g} \quad (5)$$

отсюда находим
$$\vec{\omega} = -\frac{mR\vec{g}}{J_0\Omega}. \quad (6)$$

Следовательно, ось волчка вращается по конической поверхности вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью Ω .

Одним из эффектов влияния силы трения между опорной плоскостью и основанием оси волчка состоит в том, что ось симметрии волчка стремиться занять вертикальное положение.

Найдем связь между угловой скоростью прецессии ω и моментом сил M . Момент количества движения волчка равен

$$\vec{N} = I\vec{\omega} \quad (7)$$

Где I - его момент инерции относительно оси O . Вектор \vec{N} направлен по оси волчка. Равенство не вполне точно. Так как волчек участвует одновременно в двух вращательных движениях – вращение вокруг своей оси и прецессии около оси OZ . Но так как скорость прецессии невелика, ее влиянием на величину и направление вектора \vec{N} можно пренебречь. Согласно правилу моментов скорость изменения момента количества движения равна моменту внешних сил, действующих на волчок:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{M} \quad (8)$$

За бесконечно малый промежуток времени dt вектор \vec{N} получает перпендикулярное себе приращение $dN = (N \sin \varphi) d\alpha$, лежащее в горизонтальной плоскости. Следовательно,

$$M = N \sin \varphi \frac{d\alpha}{dt}. \quad (9)$$

Но $\frac{d\alpha}{dt}$ есть, очевидно, угловая скорость прецессии ω .

(Заметим, что, так как момент сил в нашем случае – величина постоянная, то постоянной будет и угловая скорость прецессии). Подставив

в последнее выражение (9) $N = I\omega$ и $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$,

получим: $M = I\Omega\omega \sin \varphi$, а, учитывая векторный характер величин, можем написать

$$\vec{M} = [\vec{\omega} I \vec{\Omega}] \quad (10)$$

По этой формуле можно определить величину и направление угловой скорости прецессии, если известен момент сил, действующих на гироскоп. Из формулы так же видно. Что момент сил определяет не угловое ускорение (как это было для не вращающегося гироскопа), а угловую скорость прецессии. Значит, как только внешнее воздействие было прекращено ($M=0$), ось гироскопа останавливается. Если воздей-

ствие было кратковременным. То ось успеет повернуться только на очень малый угол. Таким образом, видно, что гироскоп приобрел устойчивость. Найдем связь между угловой скоростью прецессии $\vec{\omega}$ и моментом сил M . Момент количества движения волчка равен

$$\vec{N} = I\vec{\omega} \quad (11)$$

Где I - его момент инерции относительно оси O . Вектор \vec{N} направлен по оси волчка. Равенство (11) не вполне точно. Так как волчек участвует одновременно в двух вращательных движениях – вращение вокруг своей оси и прецессии около оси OZ . Но так как скорость прецессии невелика, ее влиянием на величину и направление вектора \vec{N} можно пренебречь. Согласно правилу моментов скорость изменения момента количества движения равна моменту внешних сил, действующих на волчок:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{M} \quad (12)$$

За бесконечно малый промежуток времени dt вектор \vec{N} получает перпендикулярное себе приращение $dN = (N \sin \varphi) d\alpha$, лежащее в горизонтальной плоскости. Следовательно,

$$M = N \sin \varphi \frac{d\alpha}{dt}. \quad (13)$$

Но $\frac{d\alpha}{dt}$ есть, очевидно, угловая скорость прецессии ω .

(Заметим, что, так как момент сил в нашем случае – величина постоянная, то постоянной будет и угловая скорость прецессии). Подставив

в последнее выражение $N = I\omega$, $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$, получим:

$$M = I\Omega\omega \sin \varphi, \quad (14)$$

а, учитывая векторный характер величин, можем написать

$$\vec{M} = [\vec{\omega} I \vec{\Omega}] \quad (15)$$

По этой формуле можно определить величину и направление угловой скорости прецессии, если известен момент сил, действующих на гироскоп. Из формулы так же видно. Что момент сил определяет не угловое ускорение (как это было для не вращающегося гироскопа), а угловую скорость прецессии. Значит, как только внешнее воздействие было прекращено ($M=0$), ось гироскопа останавливается. Если воздействие было кратковременным. То ось успеет повернуться только на

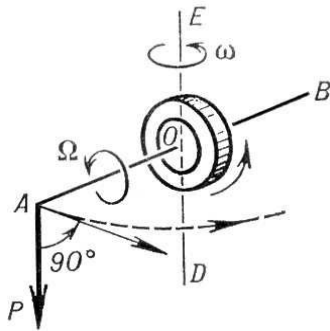
очень малый угол. Таким образом, видно, что гироскоп приобрел устойчивость.

Определение момента сил, вызывающего прецессию.

В нашей работе телом гироскопа служит электромотор с маховиком, укрепленный на одном конце массивного стержня. На другом конце стержня имеется противовес, предназначенный для создания свободной уравновешенной системы относительно горизонтальной оси и получения момента внешних сил, вызывающих прецессию гироскопа. Прецессия гироскопа вызывается смещением противовеса вдоль стержня. Таким образом, момент сил, вызывающих прецессию, M равен разности моментов, создаваемых противовесом в неуравновешенном и уравновешенном состояниях, $M = mg(l - l_0)$, (16)

где m – масса противовеса вместе с контргайкой, l_0 – плечо уравновешенного, l – плечо неуравновешенного гироскопа. Скорость вращения гироскопа и скорость прецессии определяется блоком управления.

Определение направления прецессии гироскопа.



Направление прецессии гироскопа находится в соответствии с рис 5. Глядя на ротор из точки приложения силы P , надо установить, как вращается ротор — по ходу или против хода часовой стрелки. После этого мысленно повернуть вектор AP вокруг оси AB на 90° в ту же сторону (т. е. по ходу или против хода часовой стрелки соответственно); тогда он и укажет направление прецессии (здесь — AD).

Рис. 5. Правило определения направления прецессии.

3. Описание экспериментальной установки

3.1 **Гироскоп ФМ 18М** представлен на рисунке и включает в свой состав: основание 1; корпус 2 с узлом подшипников, вертикальным валом с винтом фиксации 13 и коллектором. На валу установлены лимб 4 с уровнем 5, вилка 6, на которой установлена гироскопическая система 7. На корпусе и гироскопической системе установлены фотодатчики 8 и 9. Основание 1 снабжено тремя регулируемыми опорами 10.

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

Гироскопическая система 7 состоит из электродвигателя с маховиком, стержня 11 и противовеса 12 с фиксирующим винтом 14.

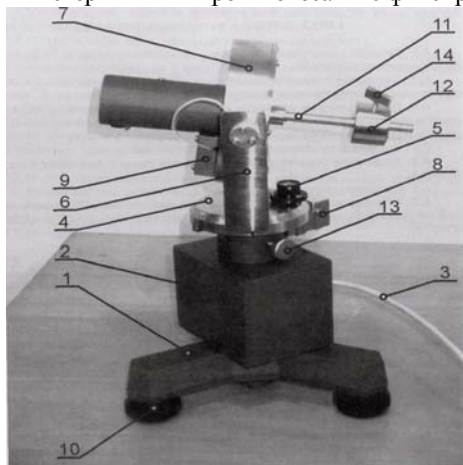


Рис.6.

Стержень 11 и противовес 12 предназначены для создания свободной уравновешенной системы относительно горизонтальной оси и создания момента внешних сил, вызывающих прецессию гироскопа.

Фотодатчик 8 предназначен для выдачи сигналов при измерении угловой скорости при прецессировании.

Фотодатчик 9 предназначен для выдачи сигналов при измерении скорости вращения маховика гироскопа.

Гироскоп в составе установки работает совместно с блоком электронным ФМ 1/1, к которому подключается с помощью кабеля с разъемом 3.

3.2. **Блок электронный** (Рис.7.) выполнен в виде законченного изделия. В



Рис.7.

нем применен микроконтроллер с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить измерения частоты вращения маховика гироскопа и угловой скорости при прецессировании с индикацией результатов, а также осуществлять функции управления гироскопом (включение и регулирование частоты

вращения привода маховика гироскопа). В состав блока электронного входят также источники питания как самого блока электронного, так и гироскопа. На передней панели блока электронного размещены следующие органы управления и индикации:

- кнопка «ПУСК/СТОП-СБРОС» - предназначена:

а) Для включения и выключения (путем повторного нажатия) привода вращения маховика гироскопа кнопка должна удерживаться в нажатом состоянии в течении 1-2 с до индикации соответствующего режима (ВКЛ или ВЫКЛ) на индикаторном табло;

б) Для сброса показаний индикаторного табло необходимо кратковременно нажать указанную кнопку.

- кнопки «ЧАСТОТА +» и «ЧАСТОТА -» - предназначены для регулирования скорости вращения маховика гироскопа, нажатие соответствующей кнопки приводит к ее увеличению (уменьшению);

- жидкокристаллическое табло индикации - предназначено для индикации измеряемых величин и режимов.

На табло отражается соответствующая информация:

- текущее значение частоты вращения маховика гироскопа ($f=***\text{Гц}$);

- значение угловой скорости при прецессировании ($\omega=*,***\text{рад/с}$);

Примечание: знаки “*” “”соответствует цифрам значения измеряемой величины.

- состояние привода вращения маховика гироскопа (Вкл и Выкл)

- кратковременная индикация при нажатии кнопок частота

(+ или - соответственно).

На задней панели блока электронного расположены выключатель «СЕТЬ», клемма заземления, держатели предохранителей (закрыты предохранительной скобой), сетевой шнур с вилкой и кабель для подключения гироскопа. Блок электронный с помощью сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

3.3 Установка обеспечивает возможность решения следующих задач:

- Определение скорости прецессии гироскопа и измерение угловой скорости вращения маховика гироскопа;

- Определение зависимости угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа;

- Определение зависимости скорости прецессии гироскопа от момента сил, приложенного к горизонтальной оси гироскопа.

4. Технические характеристики:

Частота вращения маховика, Гц, не более 120

Масса противовеса с фиксирующим винтом, 0,1794кг

Электропитание - от блока электронного ФМ 1/1.

Габаритные размеры, мм, не более:- длина 250 Ширина 210 Высота 320

Масса, кг, не более

7

5. Указание мер безопасности

5.1. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.

5.2. Время непрерывной работы двигателя гироскопа - 10 мин., перерыв 5 мин.

5.3. Для предотвращения опрокидывания установки необходимо располагать ее только на горизонтальной поверхности.

6.Порядок работы

6.0.Перед включением установки в сеть выключатель «СЕТЬ», расположенный на задней панели блока электронного, должен находиться в положении «0».

6.1.Включите выключатель питания «СЕТЬ». При этом должно включиться табло индикации.

6.2. Определение скорости прецессии гироскопа и измерение угловой скорости вращения маховика гироскопа.

6.2.1. Зафиксируйте винтом 13 положение вала.

6.2.2. При помощи регулировочных опор основания по уровню гироскопа установите горизонтальное положение основания.

6.2.3. Передвигая противовес 12, добейтесь того, что бы гироскопическая система находилась в положении равновесия.

6.2.4. С помощью штангельциркуля измерьте расстояние l от конца стержня 11 до ближайшей плоскости противовеса 12.

6.2.5. Отпустите фиксирующий винт 13.

6.2.6. Нажмите кнопку «ПУСК/СТОП-СБРОС» и удерживайте ее в течении 1-2с (до появления на табло индикации надписи «ВКЛ»). При помощи кнопок регулирования скорости вращения маховика гироскопа «ЧАСТОТА +» и «ЧАСТОТА -» установите частоту вращения 40...60 Гц. (например 50Гц). Убедитесь в отсутствии прецессии.

6.2.7. Установите гироскопическую систему так, что бы указатель угла поворота гироскопа показывал на 0 градусов. Далее повернуть гироскопическую систему на 10...15 градусов в сторону, противоположную вращению прецессирующего гироскопа. Зафиксировать винтом 13 положение вала и одновременно нажать кнопку «ПУСК/СТОП-СБРОС» блока электронного.

6.2.8. Сместить противовес так, что бы расстояние от конца стержня 11 до ближайшей плоскости противовеса составило 5 мм, то есть $l_1=5\text{мм}$.

6.2.9. Определите Δl_1 по формуле:

$$\Delta l_1 = l - l_1 \quad (17)$$

6.2.10. Наклоните гироскопический узел в противоположную сторону до упора и, удерживая его, отпустите фиксирующий винт вала 13, после чего отпустите гироскопический узел.

6.2.11. По табло определите скорость прецессии ω_1 .

6.2.12. Установите гироскопическую систему так, что бы указатель угла поворота гироскопа показывал на 0 градусов. Далее повернуть гироскопическую систему на 10...15 градусов в сторону, противоположную вращению прецессирующего гироскопа. Зафиксировать винтом 13 по-

ложение вала и кратковременно нажать кнопку «ПУСК/СТОП-СБРОС» блока электронного.

6.2.13. Сместить противовес так, чтобы расстояние от конца стержня 11 до ближайшей плоскости противовеса составило 5 мм, то есть $l_2 = 10 \text{ мм}$.

6.2.14. Определите Δl_2 по формуле:

$$\Delta l_2 = l - l_2 \quad (18)$$

6.2.15. Наклоните гироскопический узел в противоположную сторону до упора и, удерживая его, отпустите фиксирующий винт вала 13, после чего отпустите гироскопический узел.

6.2.16. По таблице определите скорость прецессии ω_2 .

6.2.17. Убедитесь в справедливости соотношения

$$\frac{\Delta l_1}{\omega_1} = \frac{\Delta l_2}{\omega_2} = \text{const} \quad (19)$$

Таблица 1

№	l м	f гц	l_1 м	ω_1 гц	Δl_1 м	l_2 м	Δl_2 м	ω_2 гц	$\frac{\Delta l_1}{\omega_1} \frac{м}{гц}$	$\frac{\Delta l_2}{\omega_2} \frac{м}{гц}$
1			0,005			0,01				
2										
3										

6.3. Определение зависимости скорости рецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа.

6.3.1. Изменяя при нескольких измерениях (измерения проводятся аналогично указанному в п.6.2. настоящего описания) скорость вращения маховика гироскопа при постоянном положении противовеса, определите зависимость скорости прецессии от скорости вращения маховика, постройте график зависимости $\omega(f) = ?$

Таблица 2

№	f гц	L м	l_1 м	Δl_1 м	ω гц
1					
2					
3					
4					
5					

6.4. Определение зависимости скорости прецессии гироскопа от момента сил, приложенного к горизонтальной оси гироскопа.

6.4.1. Перемещая, при нескольких измерениях (измерения проводятся аналогично указанным в п.6.2. настоящего описания), противовес при постоянной скорости вращения маховика гироскопа определите зависимость скорости прецессии от момента сил, приложенного к горизонтальной оси гироскопа.

Таблица 3

№	l_m	$f_{гц}$	l_{1i} $_m$	$\omega_{гц}$	$\frac{M}{H \cdot m}$
1					
2					
3					
4					
5					

6.5. По окончании работы, выключите двигатель, для чего нажмите кнопку «ПУСК/СТОП-СБРОС» и удерживайте ее в течении 1-2с (до появления на табло индикации надписи «ВЫКЛ»), и потом выключите питание «СЕТЬ», расположенный на задней панели блока электронного. При этом должно выключиться табло индикации.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что такое прецессия?
- 7.2. Что такое момент инерции? Как его найти?
- 7.3. Сформулируйте теорему Штейнера.

9. Литература

1. И.В. Савельев. Курс общей физики. Том1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. М., Высшая школа, стр.168-171.
2. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика .,М.,стр.90-96.

Содержание

Лабораторная работа № МАГ-1Измерение магнитной индукции.....	3
Лабораторная работа № ОСЦ-1 Изучение электронного осциллографа.....	6
Лабораторная работа № Г-1 Гироскоп.....	18