Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Лицей № 40»

Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике . 11 класс.

П.М.Савкин, А.А.Сагачева.

Нижний Новгород
2021

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Лицей №40»
Кафедра физики

Учебное пособие,
Методические указания,
Лабораторные работы по физике
11 класс

Авторы П.М. Савкин, А.А. Сагачева

Нижний Новгород, 2021

Савкин П.М., Сагачева А.А.
Учебные пособия, методические указания, лабораторные работы по физике. 11 кл. – Нижний Новгород, ЛИЦЕЙ 40, 2021.

В пособии приведён теоретический материал, описание лабораторных работ, методические указания к их выполнению, а также приложения, содержащие справочные материалы по физике.

Авторы и издательство принося свои извинения за неточности, ошибки, опечатки и пр., допущенные при наборе и вёрстке текста.

Компьютерный набор, чертежи и рисунки: Савкин П.М.
Компьютерная вёрстка: Шилков Р.Н.

© Савкин П.М., Сагачева А.А.
© Издательство Лицей 40

Литература.

- Физический практикум для классов с углублённым изучением физики. Дик Ю.И., Кабардин О.Ф., Орлов В.А. и др. «Просвещение», Москва. 1993.
- Электронные приборы. Виноградов Ю.В. «Связь», Москва. 1977.
- Элементарный учебник физики под ред. Ландсберга Г.С. том III. «Наука», Москва. 1971.
- Электроника. Энциклопедический словарь под ред. Колесникова В.Г. «Советская энциклопедия», Москва. 1991.
- Радиотехника и радионавигационные приборы. Айзинов М.М., Байрашевский А.М., Положинцев В.А. «Морской транспорт», Ленинград. 1962.
- Практикум по физике в средней школе под ред. Покровского А.А. «Просвещение», Москва. 1982.
- Физика 10. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. «Просвещение», Москва. 2000.

Оглавление.

I цикл. Магнитное поле и электромагнитная индукция.

№1-I.Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли по отклонению электронного луча осциллографа.

№2-I. Снятие кривой намагничивания.

№3-I. Определение индукции магнитного поля Земли баллистическим методом.

№4-I. Измерение индукции поля постоянного магнита.

№5-I. Определение индукции магнитного поля в зазоре магнитной системы громкоговорителя.

№6-I. Определение индуктивности катушки.

II цикл. Гармонические колебания в механических системах.

№1-II. Физический маятник.

№2-II. Крутильные колебания.

№3-II. Маятник Максвелла.

№4-II. Колебания струны.

№5-II. Колебания жидкости в сообщающихся сосудах.

№6-II. Колебания груза на пружине.

№7-II. Определение ускорения свободного падения при помощи математического маятника.

III цикл. Электромагнитные колебания и переменный ток.

№1-III. LC генератор.

№2-III. Измерение частот методом фигур Лиссажу.

№3-III. Резонансная кривая последовательного колебательного контура.

№4-III. Релаксационный генератор на газонаполненной лампе.

№5-III. Контур ударного возбуждения.

№6-III. Изучение явления резонанса в колебательном контуре.

№7-III. Определение индуктивности катушки.

IV цикл. Электромагнитные колебания

№1-IV. Амплитудная характеристика УНЧ.

№2-IV. Частотные характеристики связанных контуров.

№3-IV. Определение скорости звука в воздухе.

№4-IV. Частотная характеристика УНЧ.

№5-IV. Исследование работы трансформатора.

№6-IV. Измерение глубины модуляции.

V цикл. Исследование «чёрных ящиков».

Лабораторные работы №1,2,3,4,5,6.

VI цикл. Оптика.

№1-VI.Определение показателя преломления стекла при полном внутреннем отражении.

№2-VI.Исследование зависимости Фототока от освещённости фотоэлемента.

№3-VI.Определение фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линзы.

№4-VI.Определение спектральных границ чувствительности человеческого глаза.

№5-VI.Определение длины световой волны при помощи колец Ньютона.

№6-VI. Качественный спектральный анализ.

№7-VI. Дифракционная решётка как спектральный прибор.

№8-VI.Определение фокусного расстояния, показателя преломления и аберрационных границ цилиндрической линзы.

I Цикл. Магнитное поле и электромагнитная индукция.

Лабораторная работа №1-I.
Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли по отклонению электронного луча осциллографа.

Цель: определить значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, используя электронный луч осциллографа в качестве индикатора магнитного поля.

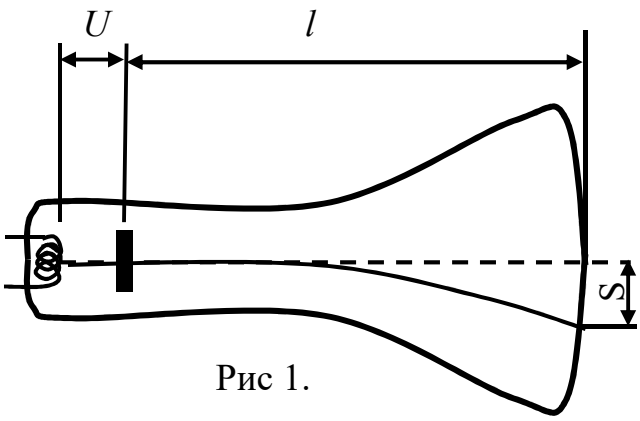


Рис 1.

Оборудование: электронный осциллограф со снятым с электронно-лучевой трубки ферромагнитным экраном; «диск здоровье»; ученическая линейка.

Содержание и метод выполнения работы.

Если работающую электронно-лучевую трубку расположить перпендикулярно магнитному меридиану Земли, то вследствие действия на электронный луч силы Лоренца происходит его смещение **s** (рис.1). Смещение по вертикали зависит от горизонтальной составляющей $B_г$ индукции магнитного поля Земли.

Измерив вертикальное смещение s электронного луча, можно, как видно из рисунка 2, определить радиус R дуги, по которой движутся электроны:

$$\frac{s}{l} = \frac{l}{2R - s} \approx \frac{l}{2R}$$ (при допущении R » ℓ),

где ℓ - расстояние от анода до экрана. Следовательно,

$$R = \frac{l^2}{2S}. \qquad (1)$$

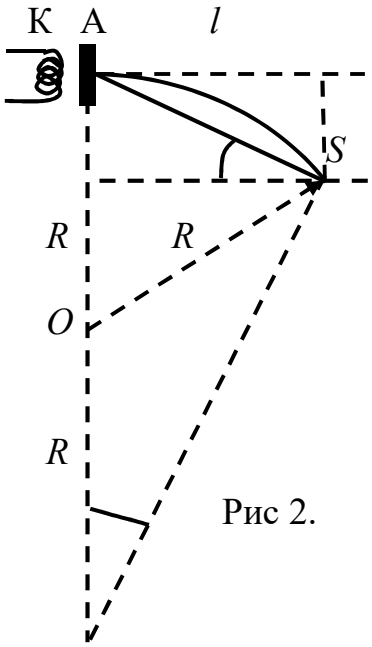


Рис 2.

С другой стороны, радиус R можно определить, применив второй закон Ньютона F=ma для электрона, движущегося в магнитном поле. Здесь $F=evB_г$, $\alpha = \frac{v^2}{R}$.

Следовательно, $evB_г=mv^2/R$, откуда $R = \frac{mv}{eB_Г}$ (2)

Где e и m соответственно заряд и масса электрона.

Скорость электрона можно определить, исходя из закона сохранения энергии: $mv^2/2 = e$, $U\frac{mv^2}{2} = eU$.

(U – разность потенциалов между катодом и анодом электронно-лучевой трубки).

Отсюда $$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \qquad (3)$$

Из выражений (1), (2) и (3) получаем:

$$B_Г = \frac{2s}{l^2}\sqrt{\frac{2Um}{e}}. \qquad (4)$$

Таким образом, для определения модуля горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции магнитного поля Земли при известных значениях U и ℓ нужно измерить смещение s электронного луча по вертикали под действием силы Лоренца.

Порядок выполнения работы.

Включите электронный осциллограф. С помощью ручек управления яркостью луча и его фокусировкой добейтесь получения на экране светящегося пятна минимальных размеров. Поворачивая осциллограф на «диске здоровья», заметьте, что луч перемещается по вертикали. Найдите такое положение осциллографа, при котором луч займёт верхнее крайнее положение. Ручками смещения луча по вертикали и по горизонтали выведите светящееся пятно в центр экрана (в центре экрана имеется метка).

Поверните осциллограф на 1800 в горизонтальной плоскости. Электронный луч будет снова расположен перпендикулярно горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли, однако направление вектора скорости электронов изменится на противоположное. В результате луч смещается по вертикали на 2s от первоначального положения.

3. Измерьте расстояние 2s между двумя положениями светящейся точки.

По измеренному значению смещения s и известным значениям длины ℓ и ускоряющего напряжения U вычислите модуль горизонтальной составляющей Вг вектора индукции магнитного поля Земли.

4. Измерения повторите три раза и найдите среднее значение Вг.ср. Результаты измерений и вычислений занесите в отчётную таблицу.

ℓ, м.	U, В	2s, м	$В_г$, Тл	$В_{г,\ ср.}$ Тл
0,11	150			

Контрольные вопросы.

1. С электронно-лучевой трубки осциллографа, предназначенного для этой лабораторной работы, снят экранирующий кожух из ферромагнитного материала (электротехнической стали). Для чего это сделано?

2. Почему при выполнении эксперимента в современном здании вычисленные результаты отличаются от табличных?
3. Каким образом нужно провести эксперимент для измерения вертикальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли?

Лабораторная работа №2 – I.
Построение петли гистерезиса.

Цель: исследовать зависимость индукции магнитного поля, создаваемого при намагничивании и перемагничивании стального стержня от напряженности магнитного поля катушки.

Оборудование: выпрямитель В – 24; стержень из закалённой стали; двухполюсный переключатель; катушка на 220 В учебного трансформатора; индикатор магнитной индукции И – 354; амперметр учебный на 2 А; вольтметр 0,5 В с выпрямителем; звуковой генератор ГЗ-34 (6 кГц, 25 В).

Содержание и метод выполнения работы.

В этом опыте исследуется зависимость индукции магнитного поля, создаваемого при намагничивании и перемагничивании сердечника, от напряжённости поля катушки, в которую он помещён. По полученным данным строится петля гистерезиса.

Лабораторная установка состоит из двух частей. Слева от амперметра находится катушка на 220 В от трансформатора. В неё вставлен хорошо закалённый стержень, например напильник. Катушка через амперметр со

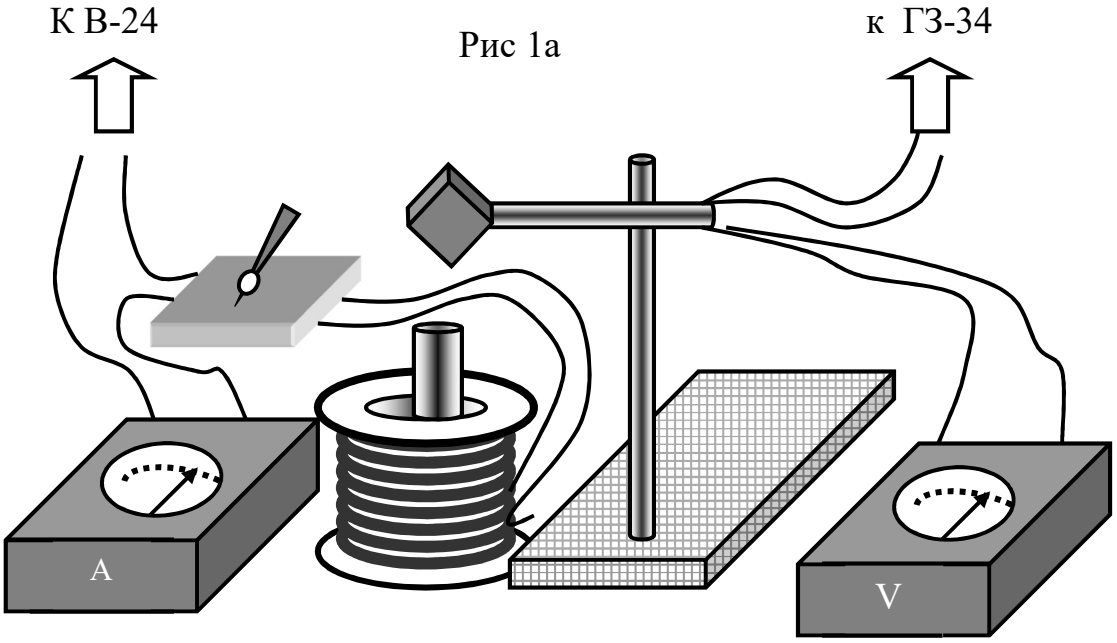
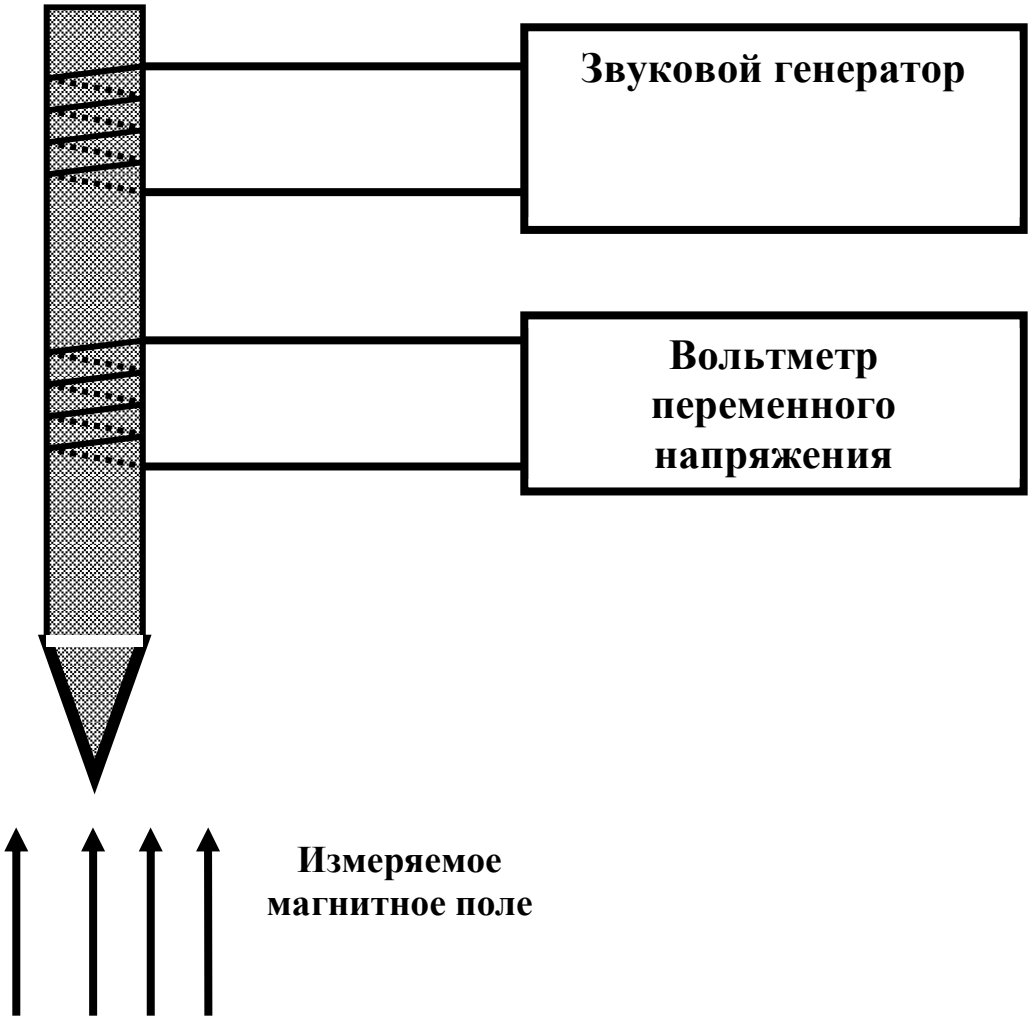


Рис 1а

шкалой на 2 А присоединена к зажимам источника В – 24, который позволяет плавно изменять напряжение. При этом ток через катушку достигает 2 А.

Над катушкой, на штативе закреплён индикатор магнитной индукции. Принцип работы данного индикатора (считывающей магнитной головки) состоит в следующем.



На стержень из магнито – мягкого материала намотаны изолированным проводом две катушки. При подключении верхней катушки (катушки подмагничивания) к генератору в стержне возникает переменное магнитное поле. Нижнюю катушку пронизывает магнитный поток, состоящий из: 1) постоянного потока измеряемого поля и 2) переменного потока поля, создаваемого генератором. При допущении « малой добавки» 2) по сравнению с 1), можно показать, что показания вольтметра пропорциональны величине индукции измеряемого магнитного поля. Важным требованием к материалу стержня является квадратичная зависимость индукции магнитного поля в стержне от индукции внешнего поля.

Выбор единиц измерения не оказывает никакого влияния на характер изучаемой зависимости, а показания приборов соответственно

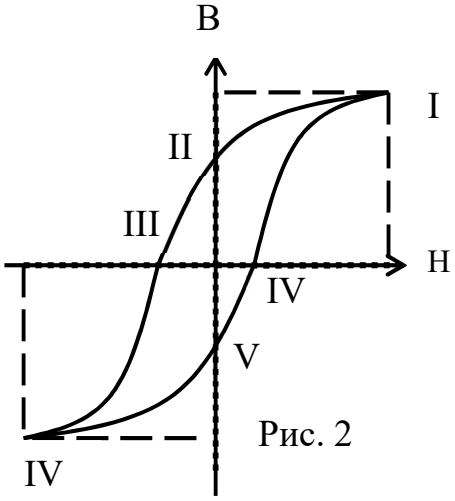
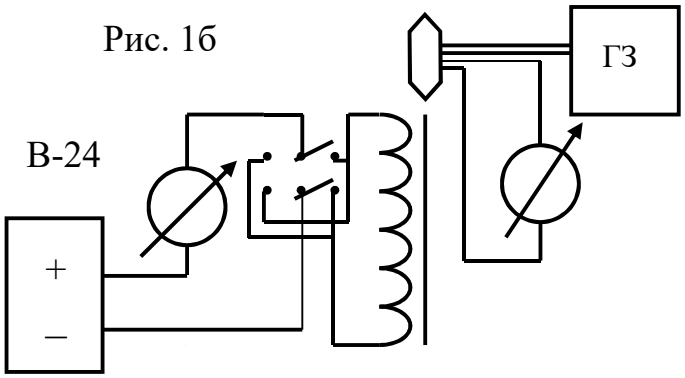


Рис. 2

Рис. 1б



пропорциональны напряжённости магнитного поля тока в катушке B_0 и индукции B поля, создаваемого сердечником. На этом основании можно принять за единицы для измерения этих величин напряжённость, создаваемую током в 1 А, и индукцию, вызывающую отклонение стрелки вольтметра, например, на 0,1 шкалы.

Включают обе части установки, ручкой источника питания увеличивают напряжённость, до 2^X условных единиц и получают магнитную индукцию, например, 3 единицы. Полученные координаты отмечают точкой I. Затем той же ручкой уменьшают напряжённость до нуля. При этом по показаниям вольтметра магнитная индукция /остаточный мА(остаточный магнетизм), оказывается равной, например, 1 единице. Соответствующие координаты отмечают точкой II. Чтобы уничтожить остаточный магнетизм в сердечнике, переключателем меняют полярность питания катушки и увеличивают вектор напряжённости в противоположном направлении, пока стрелка вольтметра не дойдёт до нуля. По показаниям амперметра определяют, что для уничтожения остаточного намагничивания потребовалось поле с напряжённостью, например, 0,5 единиц (точка III).

Продолжают увеличивать напряжённость и вновь доводят её до 2^X единиц в противоположном направлении. По показаниям вольтметра видно, что индукция в сердечнике вновь достигла максимального значения (точкаIV).

При уменьшении напряжения до нуля индукция уменьшается (точка V), а для доведения её до нуля требуется вновь сменить полярность питания катушки переключателем и создать соответствующую напряжённость (точка VI).

Соединив найденные шесть точек плавной линией, получают замкнутую кривую, носящую название *петли гистерезиса*. Из подробного рассмотрения этой кривой создаётся полное представление о самом явлении гистерезиса, о магнитном насыщении, остаточном магнетизме и коэрцитивной силе. Этот анализ помогает понять, как по форме петли гистерезиса можно судить о различных свойствах ферромагнетиков.

Порядок выполнения работы.

1. На источнике питания В-24 ручку регулировки напряжения установите в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Включите питание приборов В-24 и ГЗ-34. Через 1 –2 минуты проверьте настройку звукового генератора ГЗ-34. Он должен иметь выходное напряжение ≈25 В на частоте 6 кГц.

   Установите катушку с закалённым стержнем в качестве сердечника точно под индикатором магнитной индукции. В дальнейшем не меняйте их взаимного положения.
2. Чтобы приготовить закалённый стержень к измерениям, плавно установите ток через катушку равным 2 А. Затем также плавно убавьте его до нулевого значения. Теперь стержень намагничен. Измените положение переключателя полярности питания катушки на противоположное.

   Установка готова к выполнению эксперимента.
3. В дальнейшем следует руководствоваться рекомендациями, сформулированными в разделе «содержание и метод выполнения работы». Измерения необходимо выполнить три раза подряд.

   Результаты измерений занесите в таблицу.

   Вычислите средние значения.

   Постройте петлю гистерезиса.

Лабораторная работа №3 - I

Определение индукции магнитного поля Земли баллистическим методом.

Цель: определите индукцию магнитного поля Земли в месте наблюдения.

Оборудование: регулируемый источник питания БП8-1 (0 – 7 В); компас; проволочная катушка с поворотным устройством, лабораторный стенд с гальванометром, конденсатором и переключателем К.

C=4 мкФ,

R_G=170 Ом, n=1000 витков,

μ=3000, R_L=176 Ом.

Содержание и метод выполнения работы.

Для измерения индукции магнитного поля Земли можно применить следующий способ. Представим себе плоский контур площадью S_K , расположенный в пространстве таким образом, что вектор B индукции магнитного поля Земли перпендикулярен плоскости контура. Магнитный поток Ф через контур в этом случае равен произведению модуля вектора индукции B магнитного поля Земли на площадь S_K контура: $Ф=BS_K$.

При повороте контура в пространстве на 180^0 магнитный поток Ф через контур, оставаясь таким же по модулю, изменяет свой знак.

Изменение магнитного потока через контур при его повороте равно $\Delta Ф=Ф – (- Ф)=2BS_K$

Изменение магнитного потока через контур сопровождается возникновением ЭДС индукции, равной по закону электромагнитной индукции

$$\varepsilon=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{2BS_K}{\Delta t}$$

В катушке из n витков провода ЭДС индукции в n раз больше:

$$\varepsilon=n\frac{\Delta BS_R}{\Delta t}$$

Чтобы получить возможность применять менее чувствительный стрелочный прибор, необходимо ещё увеличить ЭДС индукции. Этого можно достигнуть, если в катушку вставить ферромагнитный сердечник. Магнитная проницаемость электротехнической стали равна μ, поэтому ЭДС индукции увеличится в μ раз.

$$\varepsilon=n\frac{2\Delta\mu S_K}{\Delta t}$$

Если выводы катушки закоротить, в цепи будет протекать индукционный ток

$$i=\varepsilon/R=\frac{2nBS_R\mu}{R\Delta t},$$

где R – общее электрическое сопротивление цепи. Умножив обе части уравнения на Δt, получим:

$$i\Delta t=\Delta q=\frac{2nBS_K\mu}{R}.$$

При использовании ферромагнитного сердечника магнитный поток Ф практически весь сосредоточен в сердечнике. Значит, площадь контура будет равна площади поперечного сечения сердечника S.

$$\text{Тогда } \Delta q=\frac{2nBS\mu}{R},$$

Из последнего уравнения следует:

$$B=\Delta q\frac{R}{2nS\mu},$$

где Δq - заряд, протекающий в цепи при повороте рамки, R – общее электрическое сопротивление цепи, складывающееся из сопротивления катушки и рамки гальванометра: $R=R_G+R_L$.

Заряд Δq можно измерить с помощью гальванометра, подключенного к концам катушки, если его предварительно проградуировать. Градуировка шкалы гальванометра в единицах заряда осуществляется путём подключения его к обкладкам конденсатора известной ёмкости, заряженного до известного напряжения.

При практическом выполнении работы, когда расположение вектора B магнитной индукции неизвестно, можно в двух отдельных экспериментах определить горизонтальную $B_Г$ и вертикальную $B_В$ компоненты вектора B и вычислить модуль их геометрической суммы:

$$B=B_Г+B_В. \qquad B=\sqrt{B_Г^2+B_В^2}$$

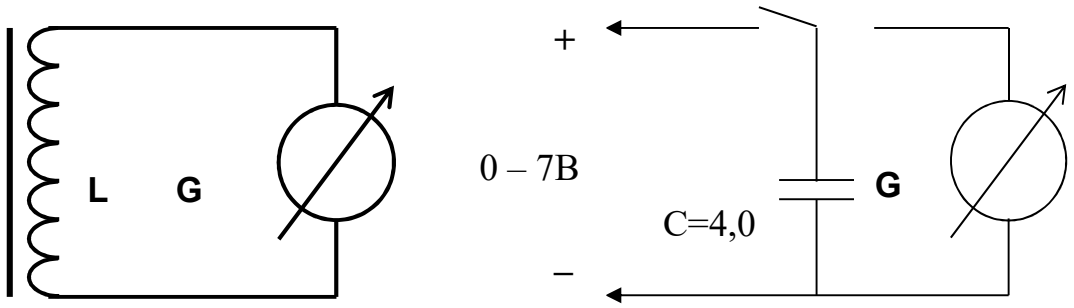


Схема №1. (Переключатель в положении «L»).

Схема №2. (Переключатель в положении «C»).

Порядок выполнения работы.

1. Прокалибруйте шкалу гальванометра. Для этого переключатель рода работ на лабораторном стенде поставьте в положение «C». Включите источник питания. Изменяя выходное напряжение источника питания от 0 до 7 В и, разряжая конденсатор через гальванометр при помощи ключа К, замечайте отброс стрелки в условных единицах шкалы прибора для каждого значения напряжения. Каждое измерение повторите три раза и вычислите среднее значение отброса стрелки. Вычислите соответствующие им величины зарядов Δ. Результаты измерений и вычислений занесите в калибровочную таблицу. Постройте график зависимости Δq от числа делений шкалы.

U, В					
Деления шкалы, Δε					
Δq, Кл					

2. Присоедините выводы катушки к гальванометру, поставив переключатель рода работ в положение «L». Установите катушку вертикально и расположите её плоскость перпендикулярно горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли, ориентируясь по стрелке компаса.

Поверните катушку на 180^0 вокруг вертикальной оси и сделайте отсчёт заряда Δq по отбросу стрелки гальванометра.

3. Повторите опыт пять раз и найдите среднее значение количества электричества $\Delta q_{Г\,СР}$, протекающего через гальванометр при повороте рамки на 180^0

4. Вычислите площадь сечения сердечника катушки S.

S=*аб* где *а* и *б* соответствующие размеры сердечника.

5. По измеренным значениям $\Delta q_{Г\,СР}$ и S и известному значению числа витков провода в катушке n, вычислите модуль $B_Г$ горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли.

6. Расположите рамку горизонтально и поверните её на 180^0 вокруг горизонтальной оси. Сделайте отсчёт заряда $\Delta q_{В}$. Повторите опыт пять раз и найдите среднее значение $\Delta q_{В\,СР}$. Рассчитайте модуль $B_В$ вертикальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли.

7. Вычислите модуль B индукции магнитного поля Земли. Результаты измерений и вычислений занесите в отчётную таблицу.

а, м	*б*, м	S, $М^2$	$\Delta q_Г$, Кл	$\Delta q_{Г\,СР}$, Кл	$B_Г$, Тл	$\Delta q_В$, Кл	$\Delta q_{В\,СР}$, Кл	$B_В$, Тл	B, Тл

Контрольные вопросы

1. Насколько быстро нужно поворачивать рамку в данном эксперименте?
2. (Дополнительный вопрос). Зависит ли чувствительность данного способа определения магнитной индукции от числа витков катушки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 – I.
Измерение индукции поля постоянного магнита.

Оборудование: стержнеобразный магнит; катушка на 220 В разборного трансформатора ($R_К$=12 Ом; гальванометр ($R_{ВН}$=2 кОм); добавочный резистор 4,7 кОм; регулируемый источник питания БП-8 (0 ÷ 8 В).

Цель: оценить значение индукции магнитного поля у полюса постоянного магнита; исследовать характер убывания индукции магнитного поля при удалении от магнита.

Содержание и метод выполнения работы.

Приближённое значение индукции поля у полюса постоянного магнита можно найти, считая поле однородным. В этом случае магнитный поток Ф связан с модулем В индукции магнитного поля с площадью поперечного сечения магнита соотношением :

$$\Phi=BS,$$

откуда индукция магнитного поля определяется выражением:

$$B=\Phi/S.$$

Для измерения магнитного потока Ф можно воспользоваться явлением электромагнитной индукции. При быстром удалении контура из магнитного поля, пронизывающий его магнитный поток изменяется от величины Ф до 0 Э.Д.С. Индукция, возникающая в этом контуре, определяется выражением:

$$\varepsilon =\Delta\Phi / \Delta t=\Phi\Delta t.$$

При удалении катушки, содержащей N витков из магнитного поля, ЭДС индукции в ней будет в N раз больше, чем в одиночном контуре:

$$\varepsilon=N\Phi / \Delta t.$$

Если концы катушки замкнуты на гальванометр, то при удалении катушки из магнитного поля магнита в цепи протекает индукционный ток I. Разделив обе части уравнения на полное сопротивление цепи R, получим:

$$\varepsilon/R=N\Phi/R\Delta t$$

так как $\varepsilon/R=I$ и $I\Delta t=\Delta q$, то

$$\Delta q=N\Phi/R$$

Последние выражения показывают, что заряд, протекающий через катушку при удалении её из магнитного поля, прямопропорционален магнитному потоку Ф через контур, числу витков в катушке и обратно пропорционален полному сопротивлению R цепи. Следовательно, для определения магнитного потока Ф необходимо измерить заряд Δq, протекающий через катушку при быстром удалении её из исследуемой области магнитного поля:

$$\Phi=\Delta qR / N.$$

Для измерения заряда Δq применяется гальванометр, шкала которого предварительно проградуирована в кулонах путём разрядки через прибор конденсатора известной ёмкости, заряженного до известного напряжения.

Порядок выполнения работы.

1.Изучите лабораторную установку, поймите назначение органов управления.

2. Включите схему №1 для градуировки шкалы гальванометра. Изменяя выходное напряжение источника питания от 1 до 7,6 В, то есть заряжая конденсатор до этого напряжения и разряжая его при помощи кнопки (переключателя) через гальванометр, заметьте отброс стрелки гальванометра в условных единицах для каждого значения напряжения. Каждое измерение повторите три раза и вычислите средние значения n отброса стрелки и соответствующие им величины зарядов Δq. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу. Постройте график зависимости числа делений шкалы n от Δq.

3. Вычислите площадь S поперечного сечения катушки. Число витков N катушки равно 1060±5 вит.

4.Включите схему №2. Введите постоянный магнит в катушку таким образом, чтобы весь магнитный поток проходил через катушку.

Быстро удалите магнит из катушки и заметьте отброс стрелки гальванометра. Повторите опыт три раза и определите среднее значение отброса стрелки n. По этому значению n по графику найдите заряд Δq, протекающий в цепи катушки.

5.Зная сопротивление катушки $R_К$, сопротивление $R_{ДОБ}$ (резистора, включенного последовательно с катушкой) и внутреннее сопротивление гальванометра, найдите полное сопротивление цепи:

$$R=R_К+R_{ДОБ}+R_Г$$

6.Используя найденные значения заряда Δq, полного сопротивления цепи R и числа витков N, вычислите магнитный поток Ф постоянного магнита и индукцию B магнитного поля. Результаты измерений и вычислений занесите в отчётную таблицу.

S, м^2	N, вит.	R, Ом	Δq, Кл	Ф, Вб	B, Тл

Дополнительное задание.

Проверьте, зависит ли отброс стрелки гальванометра

а) от скорости движения магнита ?

б) от глубины введения магнита в катушку ?

Контрольные вопросы.

1. как производится градуировка шкалы гальванометра для измерения заряда ?

2. каким ещё способом можно измерить индукцию поля магнита ?

3 можно ли подобным способом измерить индукцию магнитного поля Земли?

Лабораторная работа № 5 – I
Определение индукции магнитного поля в зазоре магнитной системы громкоговорителя.

Цель: определить значение индукции магнитного поля в цилиндрическом зазоре магнитной системы громкоговорителя.

Оборудование: динамический громкоговоритель; микрометрическая головка; реостат (16 Ом); амперметр; источник постоянного тока (4 В); штатив.

Содержание и метод выполнения работы.

Нам нужно найти приближённое значение индукции магнитного поля в цилиндрическом зазоре магнитной системы динамического громкоговорителя, в той её части, где перемещается звуковая катушка.

Ток, проходя через звуковую катушку, создаёт вокруг неё магнитное поле, которое взаимодействует с полем постоянного кольцевого магнита. В зависимости от направления тока через звуковую катушку она будет либо втягиваться в зазор, либо выталкиваться из него. Величина выталкивающей силы, действующей на катушку, зависит от силы тока I в катушке и значения индукции B в зазоре, а также от длины витка ℓ проводника катушки, количества витков N провода и угла α между проводником и вектором индукции.

F=I B ℓ N sinαВ нашем случае sinα=1. $B = \frac{F}{IlN}$

1 – кольцевой магнит
2 – звуковая катушка
3 - магнитопровод

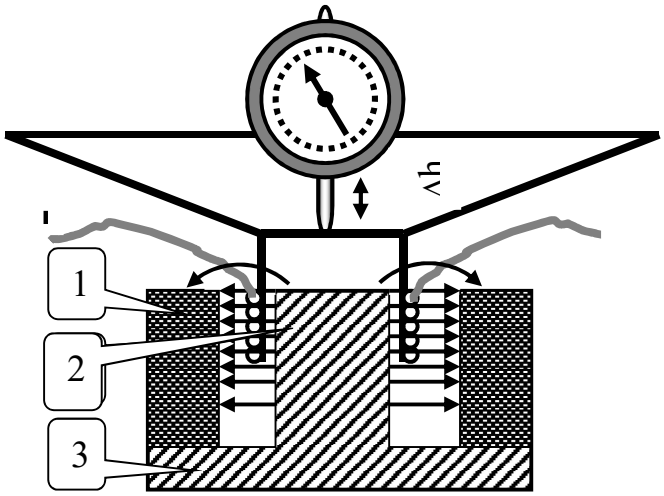


Рис 1

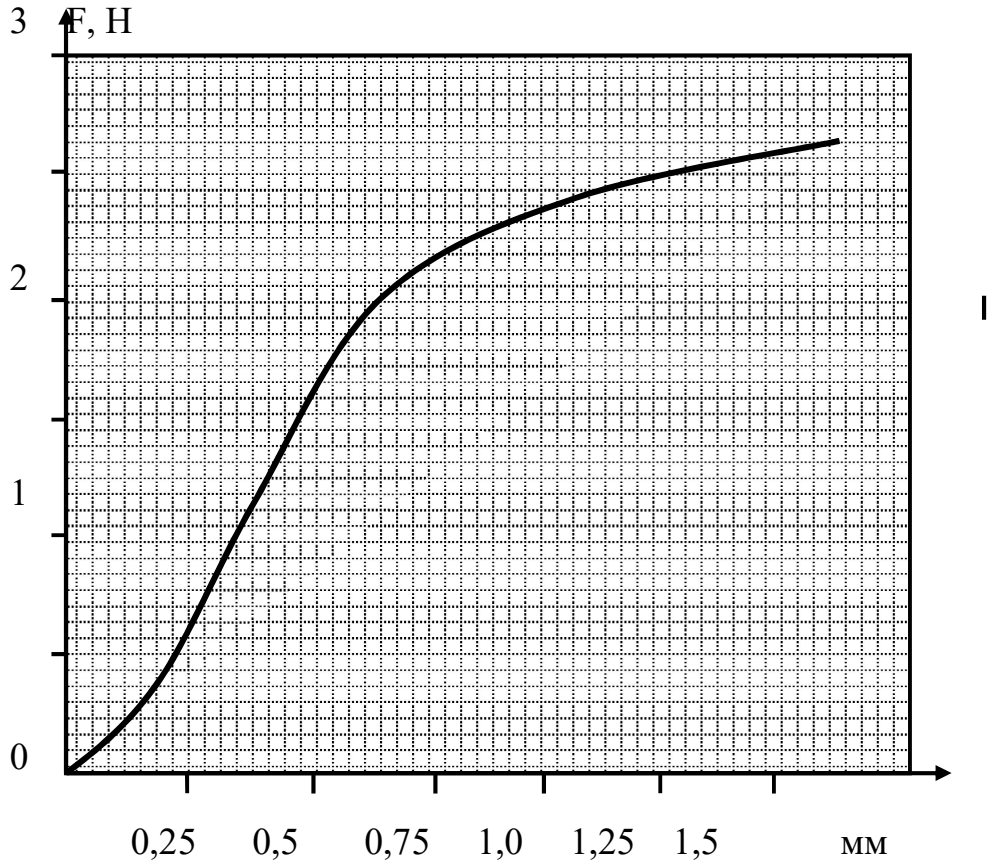


Рис 2.

Выталкивающему действию взаимодействующих магнитных полей противодействует упругая подвеска диффузора громкоговорителя. Можно контролировать перемещение звуковой катушки, жестко связанной с картонным диффузором, с помощью микрометрической головки. Зная зависимость между величинами перемещения катушки Δh и силы выталкивания катушки F (рис 2), можно определить B.Диаметр звуковой катушки громкоговорителя равен 15 мм, число её витков N=30. Вычислите длину ℓ проводника одного витка катушки. Включите источник питания лабораторной установки. Изменяя величину тока через звуковую катушку громкоговорителя при помощи реостата, ручка которого расположена на лицевой панели лабораторного стенда, от максимального значения до нуля, определяйте, как зависит от этого величина перемещения диффузора (звуковой катушки) Δh. Необходимо получить 7 – 8 точек.

Порядок выполнения работы.

1. Пользуясь графиком зависимости F от Δh, вычислите значения B. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

I, A	Δh, мм	F, Н	B, Тл

2. По экспериментальным данным построить график зависимости измеряемого значения индукции магнитного поля B от величины силы тока в катушке громкоговорителя. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы.

1) Объясните причину нелинейности зависимости F от Δh.
2) Как изменились бы результаты эксперимента при уменьшении ширины зазора, в котором перемещается звуковая катушка?

Лабораторная работа №6-I.
Определение индуктивности катушки.

Цель: используя катушку известной индуктивности, определите индуктивность второй катушки. Исследуйте влияние ферромагнитного сердечника на величину индуктивности.

Оборудование: дроссель (катушка с сердечником) 4 Гн±10%; катушка трансформатора с разъёмным сердечником и с переключателем числа витков; лабораторный стенд с миллиамперметром 60 mA, микроамперметром 100 μA, диодом Д226 и резистором 1 кОм.; регулируемый источник питания БП8 – 2,5 (0÷8 В).

Содержание и метод выполнения работы.

Полный магнитный поток Ф в катушке прямо пропорционален индуктивности катушки и силе тока в её обмотке:

$$\Phi = LI. \quad (1)$$

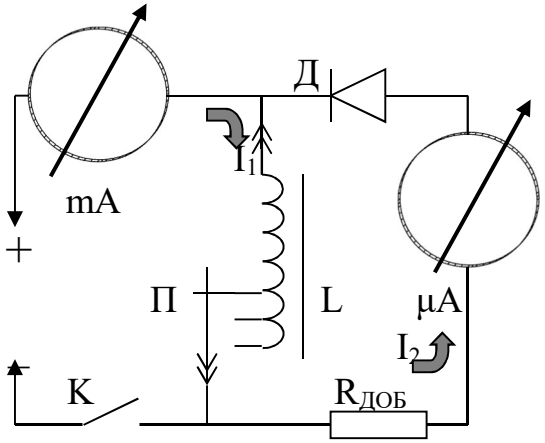
Поэтому индуктивность катушки L можно определить по изменению магнитного потока $\Delta\Phi$ при изменении силы тока в катушке:

$$L = \Delta\Phi / \ell\Delta. \quad (2)$$

При изменении магнитного потока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, прямо пропорциональная скорости изменения магнитного потока

$$|\mathcal{E}| = |\Delta\Phi / \Delta t|. \quad (3).$$

Если подключить к схеме источник постоянного тока, через катушку потечёт ток I_1 и вокруг неё развернётся магнитное поле. Сила тока в цепи микроамперметра будет очень мала, т.к. диод D включен в обратном направлении по отношению к полярности источника питания. При отключении от схемы источника тока ключом К магнитное поле вокруг катушки будет сворачиваться и ЭДС самоиндукции создаст в цепи микроамперметра ток самоиндукции I_2, совпадающий по направлению с прямым током диода Д. Произведение силы тока самоиндукции I_2 на интервал времени Δt равно заряду Δq, протекающему по цепи:



$$I_2 \Delta t = \Delta q. \quad (4)$$

По закону Ома для полной цепи ЭДС самоиндукции равна произведению силы тока I_2 на полное электрическое сопротивление цепи:

$$|\varepsilon|=I_2R. \qquad (5)$$

Из выражений (3) и (5) следует равенство:

$$|\Delta\Phi|=I_2\Delta tR, \qquad (6)$$

из которого, используя формулу (4), получаем выражения для вычисления модуля изменения магнитного потока $|\Delta\Phi|$ и индуктивности L катушки: $|\Delta\Phi| =\Delta tR$, (7)

$$L=\Delta qR / \Delta I_1. \qquad (8)$$

Если время Δt протекания тока через микроамперметр значительно меньше периода колебания стрелки, то максимальный отброс стрелки в опыте пропорционален заряду Δq, протекающему через прибор.

Имея эталонную катушку с известной индуктивностью L_1, можно определить индуктивность L_2 другой катушки, измерив с помощью миллиамперметра изменения силы тока ΔI_1 и ΔI_2 , вызывающие одинаковые отбросы стрелки микроамперметра, показания которого нужно записывать в условных единицах.

Порядок выполнения работы.

Схема собрана в лабораторном стенде.

1. Включите источник питания. Подсоедините эталонную дроссельную катушку с известной индуктивностью (4 Гн) к разъёмам L лабораторного стенда. Ручку регулятора напряжения на источнике питания БП8 – 2,5 поверните против часовой стрелки до упора (минимальное напряжение).
2. Замкните ключ К. Изменяя напряжение, подаваемое на катушку L_1, подберите такую силу тока через неё, чтобы при выключении ключа стрелка микроамперметра отбрасывалась на половину шкалы прибора.
3. Замените дроссельную катушку катушкой разборного трансформатора с неизвестными индуктивностями L_2, L_3, L_4 (индуктивность изменяется переключателем числа витков катушки П). Вставьте в катушку разъёмный сердечник. Половинки сердечника должны плотно прилегать друг к другу.
4. Измерьте силу тока I_2, I_3, I_4 в катушке, обеспечивающую такой же отброс стрелки микроамперметра, как и в опыте с L_1. При одинаковых отбросах стрелки прибора через него во всех случаях протекает одинаковый заряд Δq.

В этом случае, при одинаковом полном электрическом сопротивлении R цепи, индуктивность катушки определяется с помощью выражения (8).

$L_1\Delta I_1=\Delta qR$; $L_2\Delta I_2=\Delta qR$; $L_2\Delta I_2=L_1\Delta I_1$.

Теперь можно легко выразить L_2.

Изменения силы тока в цепи микроамперметра при размыкании ключа равны соответственно:

$$\Delta I_1=I_1 \quad \text{и} \quad \Delta I_2=I_2.$$

Для того, чтобы полное электрическое сопротивление R цепи было примерно одинаковым в двух опытах, последовательно с L и миллиамперметром включен резистор $R_{ДОБ}$, имеющий сопротивление значительно большее, чем сопротивления катушек L_1 и L_2.

1. Качественно оцените, как будет изменяться индуктивность катушки
   А) если из неё извлечь сердечник;
   Б) если вставить половину сердечника;
   В) если вставить обе половины сердечника с зазором между ними 3-4 мм.
   Г) если в зазор между половинами сердечника вставить лист бумаги.

Контрольные вопросы.

1. Какова причина возникновения электрического тока в цепи микроамперметра при отключении катушки от источника тока?
2. Каково назначение диода в цепи микроамперметра?
3. От чего зависит индуктивность катушки?
4. Почему в данной схеме необходимо строго соблюдать полярность включения диода?
5. Для чего последовательно с катушкой и микроамперметром включается резистор?
6. (Дополнительный вопрос) Почему в данной схеме используются измерители силы тока разной чувствительности?

II Цикл. Свободные колебания в механических системах.
Лабораторная работа №1.
Физический маятник.

Цель: Исследовать зависимость периода колебаний однородного стержня (физического маятника) от положения точки подвеса.

Определить ускорение свободного падения с помощью физического маятника.

Оборудование: Однородный стальной стержень с регулируемым положением точки подвеса, секундомер, линейка.

Содержание и метод выполнения работы.

Физический маятник – это любое твёрдое тело, способное совершать колебания вокруг закреплённой горизонтальной оси.

В случае малой амплитуды колебаний (что и будет рассматриваться в дальнейшем) центр масс расположен ниже точки подвеса.

Практическое применение физический маятник нашёл, в частности, в гравиметрах – приборах, исследующих зависимость ускорения свободного падения от географического положения. Также метод физического маятника используется для экспериментального определения моментов инерции массивных колёс – маховиков.

Рассмотрим колебания физического маятника на простейшей модели – однородном стержне длиной ℓ. При отклонении стержня на малый угол β возникает возвращающий момент силы тяжести

$$M = mqx\sin\beta \approx mqx\beta,$$

где m – масса стержня,

q – ускорение свободного падения,

x – расстояние между точкой подвеса и центром масс C стержня.

Тогда уравнение движения маятника при допущении отсутствия трения можно представить в виде:

$$I\ddot{\beta} = -mqx\ \beta \qquad (1).$$

Где $I = \dfrac{m\ell^2}{12} + mx^2$ (2).

- момент инерции маятника относительно точки C.

Введём обозначения:

$y = \dfrac{x}{\ell}$ - безразмерная величина, характеризующая координату точки подвеса;

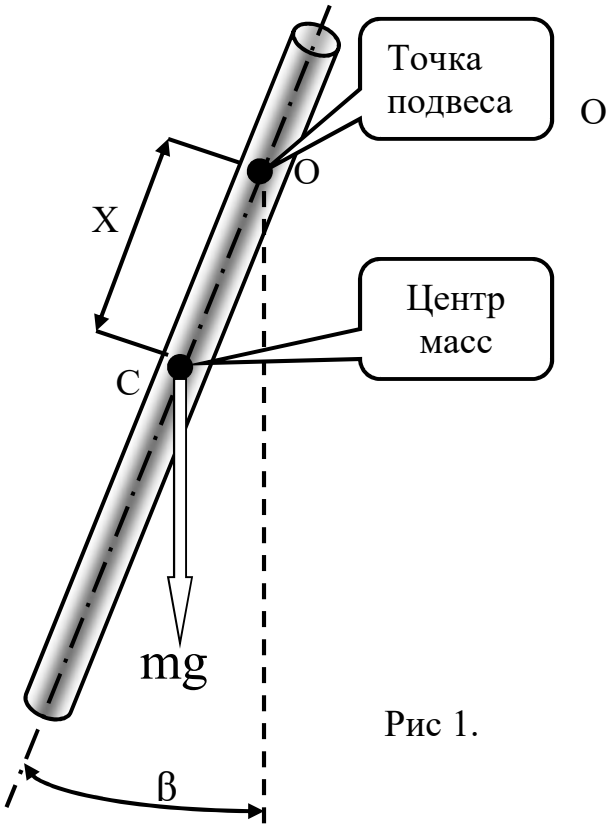


Рис 1.

$T_O = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{q}}$ - период колебаний математического маятника с длиной нити ℓ

.

Уравнение (1) описывает гармонические колебания β(t):

$$\beta = \beta_O cos(\frac{2\pi}{T}t),$$

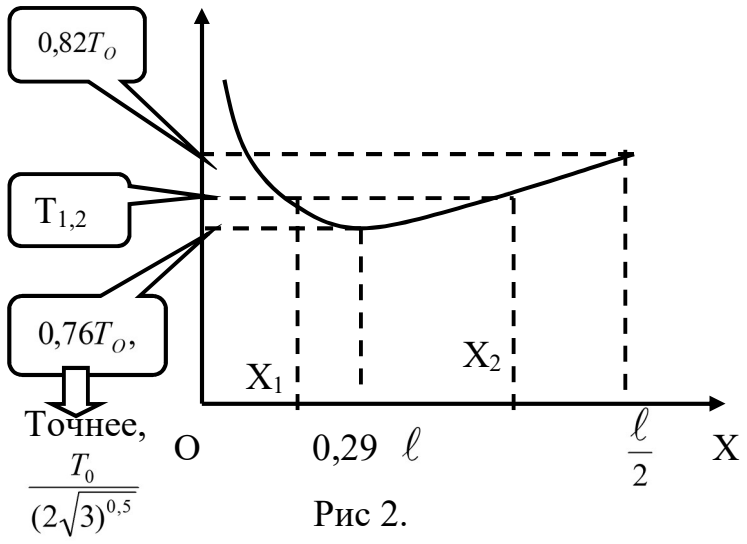
где β_O – амплитуда колебаний;

Т – период колебаний.

$$T = T_O\sqrt{y + \frac{1}{12\ y}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{q}}\sqrt{\frac{x}{\ell} + \frac{\ell}{12\ x}} \qquad (3).$$

Зависимость Т(у) имеет минимум $T = \frac{T_0}{(2\sqrt{3})^{0,5}}$ при $y = \frac{1}{2\sqrt{3}}$, т.е. при $x = \frac{\ell}{2\sqrt{3}}$.

Так как $x \le \frac{\ell}{2}$, то график имеет вид (рис 2):



Точнее, $\frac{T_0}{(2\sqrt{3})^{0,5}}$

Рис 2.

Следствием соотношения (3) является следующий факт. Пусть x_1 и x_2 – координаты точек подвеса, при которых периоды колебаний равны

$T_1 = T_2$ (рис 2),

тогда из соотношения (3) получим:

$$y_2 = \frac{1}{12y_1} \rightarrow T_{1,2} = T_0\sqrt{y_1 + y_2} = 2\pi\sqrt{\frac{x_1 + x_2}{g}} \qquad (4)$$

Порядок выполнения работы.

1. Измерьте длину стержня.
2. Найдите экспериментально центр масс стержня.
3. Разметьте стержень так, чтобы точка подвеса имела как минимум 10 положений от центра масс до края стержня.
4. Для каждой из точек подвеса определите периоды колебаний с малой амплитудой, измеряя время 20-30 колебаний. Найдите экспериментально хотя бы пару точек подвеса с одинаковыми периодами.
5. На одной координатной плоскости постройте экспериментальный и теоретический графики зависимости Т(х). для теоретического графика используйте данные об ускорении свободного падения.

6. На основании данных эксперимента определите величину ускорения свободного падения g тремя способами:

   А) по значению наименьшего периода $T = \dfrac{T_0}{(2\sqrt{3})^{0,5}}$.

   Б) используя соотношение (3).

   В) используя соотношение (4).

Контрольные вопросы.

1. Какой из способов экспериментального определения g (А, Б или С) точнее?
2. Опишите измерения (в рамках данной лабораторной работы), которые надо проделать, чтобы ответить на вопрос – какой длины надо взять нить математического маятника, чтобы его период колебаний был таким же, как период колебаний используемого физического маятника? Предложите два варианта таких измерений [используя (3) и (4)].

Лабораторная работа №2 –II.
Крутильные колебания.

Исследование динамики крутильных колебаний.

Цель:

1. Исследовать период колебаний крутильного маятника в зависимости от величины начального угла поворота **α** .

2. Практически определить момент инерции диска методом колебаний.

Оборудование: штатив с закреплённой на нём пружиной, на которой подвешен массивный диск; динамометр; секундомер; упор-подшипник для диска.

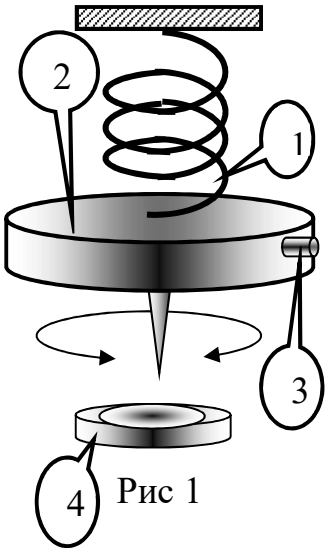


Рис 1

Содержание и метод выполнения работы.

Крутильные колебания – это весьма распространенный тип колебаний. Крутильные колебательные системы присутствуют в часовых механизмах, стрелочных приборах, различных поворотных устройствах. Как правило, крутильные колебательные системы облазают высокой добротностью и линейностью. Эти качества позволяют, в частности, достаточно точно определить момент инерции вращающегося груза. Крутильные колебания возникают, если при повороте груза появляется возвращающий момент сил М.

Примером такой системы может быть диск, подвешенный за точку, находящуюся на оси вращения диска выше центра масс, с помощью пружины

(рис.1). Здесь 1 – пружина; 2 – диск; 3 – зацеп для динамометра; 4 – упор-подшипник.

Пусть возвращающий момент сил **M** прямо пропорционален углу поворота **α :**

M = - K α . Здесь **K** - это «угловая жесткость» пружины на скручивание. Тогда для диска с моментом инерции **I** относительно центра масс уравнение динамики вращательного движения примет вид:

$$\mathbf{I\,\alpha'' = -K\,\alpha}, \text{ или: } \mathbf{\alpha'' + \alpha\,K/I = 0}$$

Последнее уравнение представляет собой уравнение гармонических колебаний с периодом $\mathbf{T = 2\pi(I/K)^{0.5}}$

Порядок выполнения работы.

1. Экспериментальное определение угловой жесткости пружины.

Подложите упор-подшипник под диск так, чтобы диск мог свободно вращаться на пружине, не раскачиваясь. Присоедините динамометр к зацепу на краю диска (3), как показано на рисунке 2.

Потяните динамометр так, чтобы линия пружины динамометра была все время направлена по касательной к краю диска. Зафиксируйте показания динамометра при повороте диска на:

1) половину оборота;
2) один оборот;
3) два оборота.

Для случаев 1 – 3 определите моменты сил M_1 - M_3 и, далее, угловые жесткости K_1 – K_3.

Представьте зависимость $K(\alpha_0)$ графически.

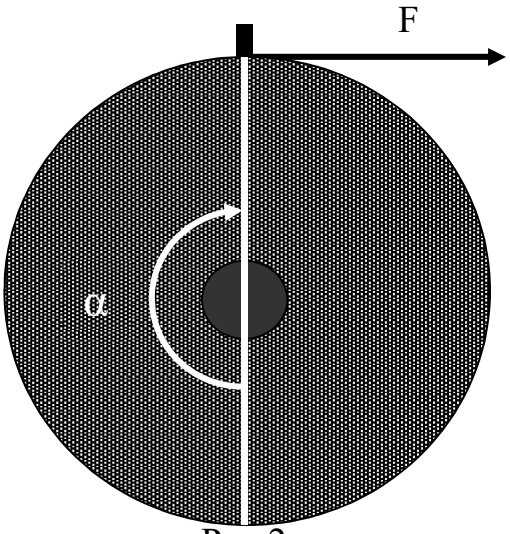


Рис 2

2. Исследование зависимости периода колебаний от величины начального отклонения.

Для углов начального отклонения п.1 данного раздела измерьте периоды крутильных колебаний $T_{1\text{-}3}$. Постройте зависимость $T(\alpha_0)$.

3 . Практическое определение момента инерции диска.

По данным п1 и п2 данного раздела, используя теоретическое описание, определите моменты инерции диска при различных начальных отклонениях. Сравните полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Зачем нужен упор – подшипник для диска?
2. Какие допущения относительно свойств пружины приняты в используемом теоретическом описании?

Лабораторная работа №3 – II.
Маятник Максвелла.

Цели:

Экспериментально исследовать зависимость периода колебаний Маятника Максвелла от амплитуды и сравнить полученные результаты с известными теоретическими расчетами. Исследовать затухание колебаний маятника.

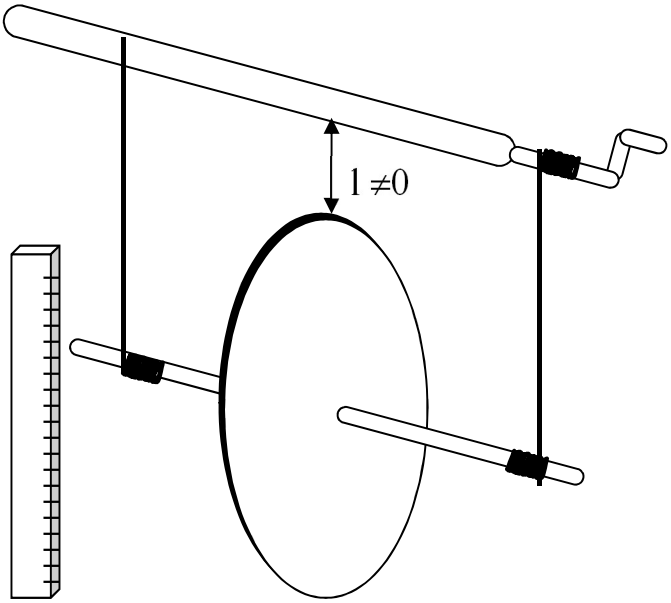
<u>Оборудование:</u> маятник Максвелла, линейка ученическая, секундомер.

Содержание и метод выполнения работы.

h_0 – начальная высота.
r =3мм – радиус стержня.
m =173гр – масса системы.

Основная формула :

$$\sqrt{\frac{2gh_0}{1+\frac{I}{mr^2}}}=\frac{4h_0}{T}$$



Порядок выполнения работы

Так как периоды колебаний маятника значительны и легко измеряемы, можно применить рациональный способ измерений, позволяющий сократить время на проведение эксперимента.

1 Сделайте необходимые измерения для определения момента инерции маятника.

2.Осторожно, без рывков, раскрутите ось маятника так, чтобы он начал подниматься, наматывая нить на стержень. В поднятом положении диск не должен касаться горизонтальной штанги штатива (см. рисунок).

3.Измерьте начальную высоту h_0 , отпустите маятник и включите секундомер.

4.Измеряйте периоды T_n колебаний маятника и одновременно последующие «начальные высоты» h_n, до которых он будет подниматься с каждым следующим колебанием.

5.Эксперимент прекратите, когда амплитуда уменьшится до 0,02 – 0,04 м.

6.Опыт повторите еще два раза.

7.Большого количества полученных экспериментальных данных вполне достаточно для выполнения поставленной задачи.

8.Измерьте *w* – время, за которое амплитуда колебаний уменьшается примерно в два раза Построить график зависимости T_n (h_n), отразите на этом графике теоретическую зависимость $T(h_0)$ и *w*.

9.Постройте график зависимости $h_n(t)$, где h_n – амплитуда n-го колебания маятника.

Контрольные вопросы.

1. Объяснить разницу между T и T’ .
2. Объяснить, почему происходят раскачивания системы в плоскости перпендикулярной плоскости колебаний.
3. Сформулировать допущения, при которых получена основная формула.
4. Можно ли считать колебания маятника Максвелла гармоническими?

Попробуйте провести аналогичные рассуждения, учитывая эффект раскачивания, и сравните результаты графически.

Лабораторная работа №4-II.

Изучение колебаний струны.

Цель: исследуйте зависимость частоты колебаний струны от её длины и силы её натяжения.

Оборудование: стальная струна; телефон со снятой мембраной; звуковой генератор ГЗ-34 (или ГЗ-102); прибор для определения модуля Юнга; линейка ученическая, микрометр.

Содержание и метод выполнения

Вывод формулы для частоты колебаний струны.

На рисунке изображена струна, закрепленная в двух точках (*а* и *б*). Длина струны равна L.

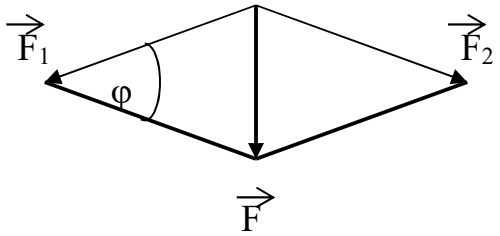


Диаграмма сил.

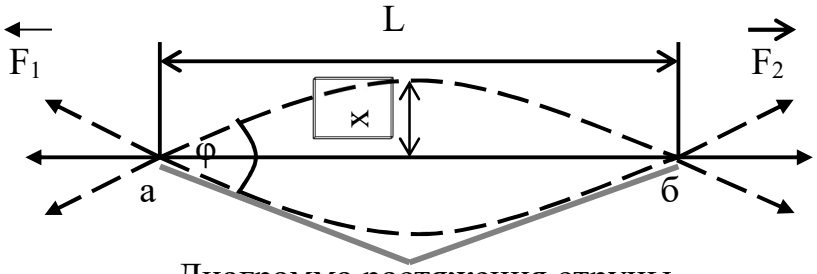


Диаграмма растяжения струны.

Положения струны при наибольших отклонениях показаны пунктирными линиями. При малых отклонениях примем следующие допущения:

1) Силы $F_{1,2}$, растягивающие струну, не меняются по величине.

2) Форма струны при наибольшем отклонении близка к двум отрезкам, образующим тупой угол.

3) Угол φ (см. рисунок) приближенно равен : $\varphi = F/F_1 = 4X/L$, где F – равнодействующая сил, действующих на струну; X – смещение струны от положения равновесия.

Уравнение движения струны массы M можно приближенно записать так:

$$F = Ma_X /2 , \qquad (1)$$

где a_X – вертикальная составляющая ускорения середины струны (здесь учтено, что разные точки струны в один и тот же момент времени имеют разные смещения, поэтому величина $a_X /2$ имеет смысл среднего ускорения струны). При принятых допущениях : $F = - 4XF_1/L$ (знак «-» указывает на противоположные направления силы и смещения струны), поэтому:

$$a_X + 8XF_1/ ML = 0. \qquad (2)$$

Это уравнение описывает гармонические колебания струны с частотой

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{8F_1}{ML}} \qquad (3)$$

Если d –диаметр струны, а ρ - плотность материала струны, то:

$$M = \frac{\pi d^2}{4} L\rho \qquad (4)$$

и окончательно получим:

$$\nu = \frac{\sqrt{8}}{\pi}\frac{1}{Ld}\sqrt{\frac{F_1}{\rho\pi}} \qquad (5)$$

Заметим, что более точные оценки частоты дает выражение:

$$\nu = \frac{1}{Ld}\sqrt{\frac{F_1}{\rho\pi}} \qquad (5^{*)}$$

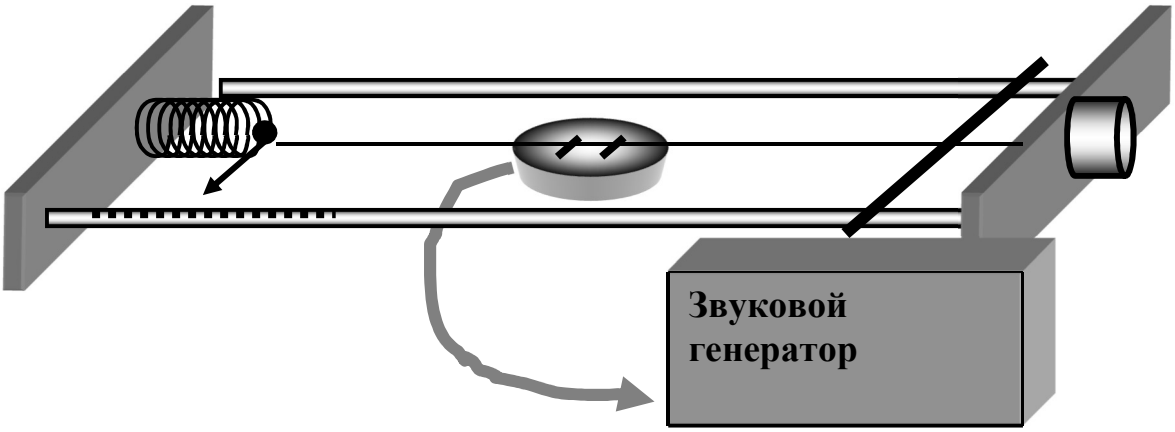
Цель работы заключается в получении экспериментальной зависимости частоты колебаний струны от её длины $\nu \sim 1/L$,

от натяжения струны $\nu \sim \sqrt{F}$,

и от способа возбуждения колебаний струны.

Зная диаметр струны d и её плотность ρ, можно рассчитать значение частоты ν по формуле (*) и проверить результаты расчёта экспериментально.

Для более комфортного проведения эксперимента с телефона снята стальная мембрана. В этом случае телефон работает беззвучно, а колебания струны возникают в результате воздействия переменного магнитного поля катушки



телефона на стальную струну.

Порядок выполнения работы.

1. Подключите телефон к выходу звукового генератора. Установите частоту генератора 250 Гц (множитель – в положении 10). Силу натяжения струны установите 20 Н (динамометр имеет множитель 10). Изменяя в небольших пределах силу натяжения струны, добейтесь резонансного колебания струны. Колебания струны будут отчётливо видны.
2. Не изменяя силы натяжения струны, попробуйте возбудить её колебания на частотах, кратных основной частоте, т.е. на гармониках (500; 750; 1000;1250 Гц и т.д.). При относительной тишине в лаборатории можно услышать колебания струны на гармонических частотах до 20 кГц. С ростом частоты громкость звучащей струны, а значит и амплитуда её колебаний, будет уменьшаться. Наблюдать колебания удаётся только до второй или третьей гармоники. Зарисуйте колеблющуюся струну на основной частоте и на второй гармонической частоте.
3. Изменяя силу натяжения струны от 20 до 40 Н, для каждого случая измерьте основную частоту колебаний струны.

4. Изменяя с помощью подвижной планки свободную длину струны, для каждого случая измеряйте частоту колебаний струны.
5. На одной координатной плоскости постройте экспериментальный и теоретический графики зависимости частоты колебаний струны от F и сделайте вывод.
6. На одной координатной плоскости постройте экспериментальный и теоретический графики зависимости частоты колебаний струны от 1 / L и сделайте вывод.
7. Сравните несколько полученных экспериментальных данных с рассчитанными по формуле для этих же случаев.
8. Все результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

№опыта	L,м	d,м	F,Н	P,кг/м^3	$\nu_{ТЕОР}$, с$^{-1}$	$\nu_{ЭКС}$, с$^{-1}$

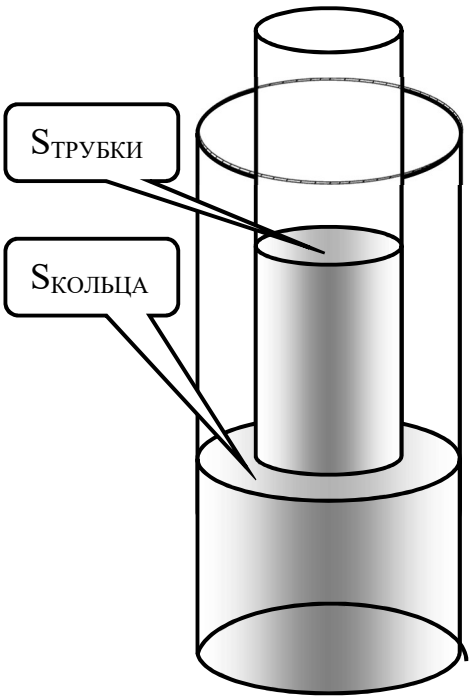
Лабораторная работа №5.
Колебания жидкости в сообщающихся сосудах.

Цель: рассчитать период колебания гармонического осциллятора и сравнить с периодом колебания, полученным практически с помощью секундомера.

Оборудование: стеклянная трубка; мензурка с водой; секундомер; штатив с муфтой и лапкой.

Содержание и метод выполнения работы.

Эксперимент лучше выполнять с трубкой и мензуркой больших диаметров. Это заметно уменьшает затухание колебаний.



Допущения:

1. При расчёте периода колебания жидкости мы будем считать, что площадь сечения трубки $S_{ТР}$ равна площади кольца $S_К$, внешней границей которого служат стенки мензурки, а внутренней границей – стенки трубки (см. рисунок). То есть $S_{ТР} = S_К = S_0$ система, в которой происходят колебания – консервативна и является гармоническим осциллятором.
2. Объём воды V, участвующий в колебаниях, примем равным V=Sh, где h – глубина погружения трубки в воду при отсутствии колебаний в системе.

Таким образом, легко доказать, что $T = 2\pi\sqrt{m(2\rho S_0)}$,

где ρ – плотность воды, m – её масса, а T – период колебаний воды в сосуде.

Тогда $T = 2\pi\sqrt{\frac{V}{2gS}}$.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы обращайтесь с оборудованием осторожно. Не допускайте ударов стеклянной трубки о стенки мензурки.

Для того, чтобы возбудить колебания жидкости в сообщающихся сосудах, поднимите трубку над водой в мензурке, ладонью другой руки плотно закройте верхнее отверстие трубки. Опустите трубку в мензурку до упора (упором служит резиновое кольцо, надетое на трубку) и отнимите ладонь от трубки. Уровни воды в трубке и в мензурке начнут колебаться. Удаётся наблюдать более 20 колебаний.

Амплитуда колебаний измеряется при помощи линейки, период колебаний – при помощи секундомера.

Измерьте время двадцати колебаний, время первых и последних трёх колебаний, а также определите средние амплитуды первых и последних трёх колебаний.

Каждый опыт повторите по три раза.

Результаты всех измерений и вычислений занесите в таблицу.

Объясните разницу между расчётной и измеренной величиной периода колебаний жидкости в сосудах..

Сравните разницу периодов «первых» и «последних» колебаний.

Попытайтесь определить логарифмический декремент затухания $\lambda=\beta T=\ell n x_n / x_{n+1}$, где x_n и x_{n+1} амплитуды n и n+1 по счёту колебаний, а β – коэффициент затухания.

Дополнительное задание.

Как будут совершаться колебания, если трубку опустить не в мензурку, а в озеро?

Лабораторная работа №6.
Колебания груза, подвешенного на пружине (пружинный маятник).

Цель: рассчитайте собственную частоту колебаний груза, подвешенного на пружинах.

Оборудование: набор грузов; две разных спиральных пружины; штатив; ученическая линейка; секундомер.

Содержание и метод выполнения работы.

Груз, подвешенный на стальной пружине и выведенный из состояния равновесия, совершает под действием силы тяжести и силы упругости

пружины гармонические колебания. Период колебаний такого пружинного маятника определяется выражением

$$T_{ТЕОР}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

Где k – жёсткость пружины, m – масса груза.

Чтобы вычислить $T_{ТЕОР}$, надо определить жёсткость применяемой пружины и знать массу груза.

Подвесив груз массой m на пружине, следует

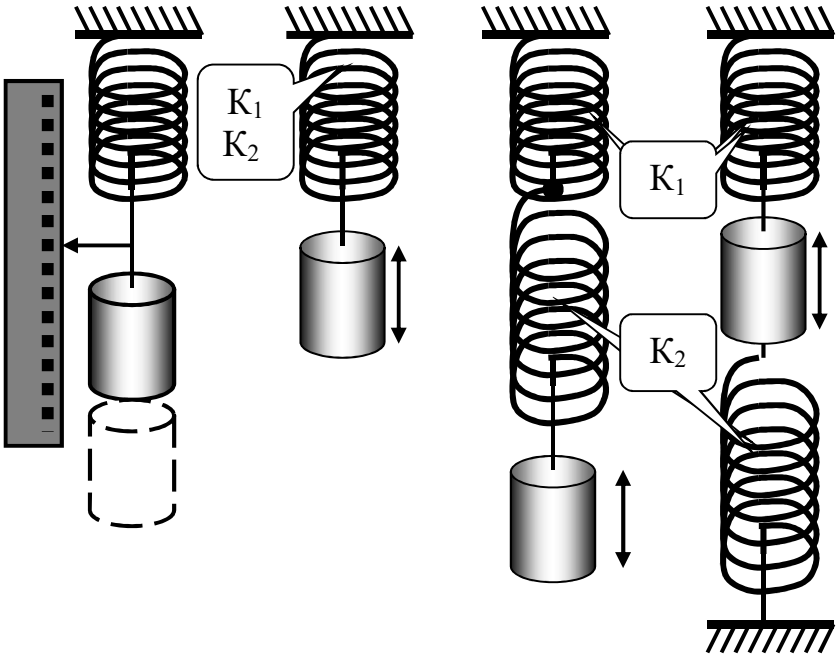


Рис 1 Рис 2 Рис 3 Рис 4

экспериментально проверить полученный теоретически результат.

Порядок выполнения работы.

1. Для определения коэффициента жёсткости пружин 1 и 2 (рис 1.) нужно сначала подвесить одну гирю, чтобы пружина выпрямилась. Отметьте на закреплённой линейке начальное положение груза.
2. Подвесьте к пружине ещё два таких же груза и измерьте удлинение Δx пружины, вызванное действием силы F≈2Н. По измеренному удлинению Δx и известной силе F вычислите жёсткость пружины: $k_1= F / \Delta x$.
3. Таким же способом определите жёсткость второй пружины k_2.
4. Подвесьте к одной из пружин две гири. Определите период колебаний этой колебательной системы (рис 2). $T_1=t_1/n$, где t_1 – время в секундах, n – число колебаний . <u>Число колебаний должно быть не менее 30, амплитуда 1 – 2 см.</u>

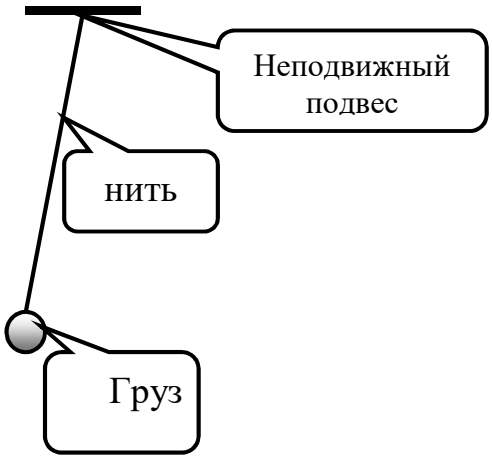
$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1}}.$$

5. Определите период колебаний T_2 другой пружины с двумя грузами.
6. Определите период колебаний системы из двух пружин с двумя грузами (рис 3 и 4).

Лабораторная работа №7-II.
Математический маятник.

Цель:

- Определить ускорение свободного падения.
- Определить влияние длины нити подвеса на период колебаний.
- Определить влияние массы груза при постоянном объёме на время затухания.



Оборудование: установка ФП-10; набор грузов; источник питания =5 В; секундомер.

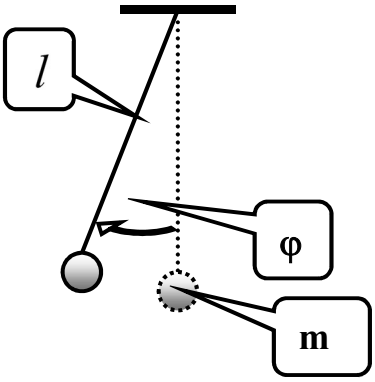
Содержание и метод выполнения работы.

Математическим маятником называется система тел, состоящая из груза, нити и неподвижного подвеса.

Допущения:

1. Нет трения в точке подвеса.
2. Нить невесома.
3. Размеры груза малы по сравнению с длиной нити.

зникает во



Здесь ого трени зависящ роховатост поверхн от диаметр шарика

Здесь l - длина нити;
φ - угол отклонения нити от положения равновесия;

Уравнение динамики вращательного движения маятника для малых отклонений (sinφ ≈ φ):

$$ml^2\ddot{\varphi} = -mgl\varphi - k\dot{\varphi}l$$

Данное уравнение имеет решение, описывающее затухающие гармонические колебания маятника:

$\varphi = \varphi_0 e^{-\delta t}\cos\omega t$ при условии, что при t =0 было наибольшее отклонение маятника

Здесь $2\delta = \dfrac{k}{ml}$; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$; $\omega_0^2 = \dfrac{g}{l}$.

Величина $\tau = \delta^{-1} = \frac{2ml}{k}$ - это промежуток времени, за который амплитуда колебаний уменьшается в **е** раз. При слабом затухании: $\tau >> T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ величину Т можно приближенно считать периодом малых колебаний маятника:

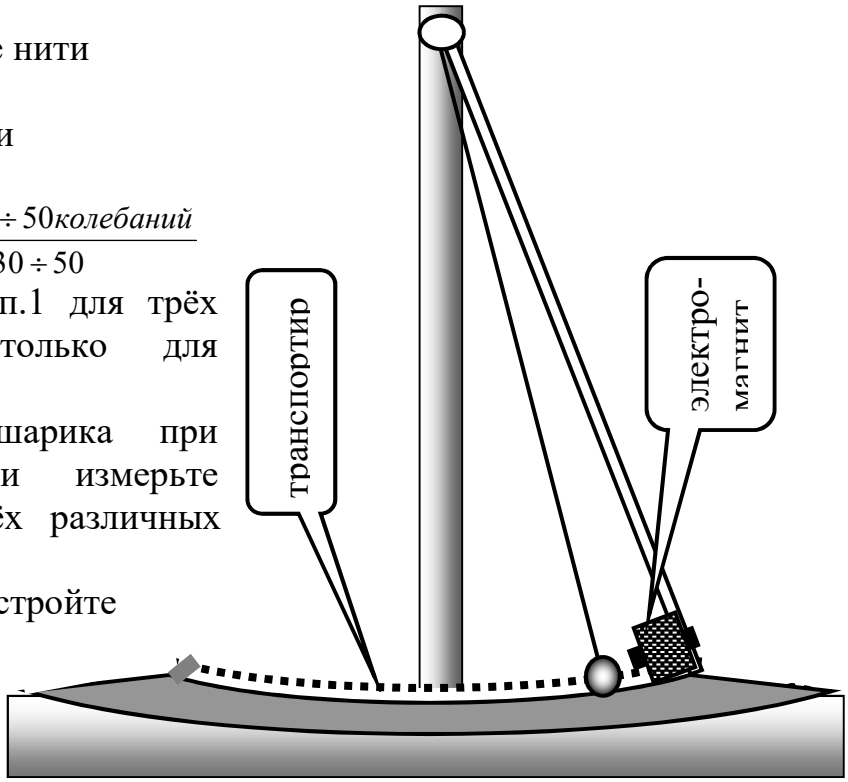
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Порядок выполнения работы.

При работе с металлическим шариком используйте электромагнит.

1. При максимальной длине нити измерьте период колебаний маятника для металлического и пластмассового шариков :

$$период = \frac{время 30 \div 50 колебаний}{30 \div 50}$$



2. Проделайте измерения п.1 для трёх других длин нити только для металлического шарика.
3. Для металлического шарика при максимальной длине нити измерьте периоды колебаний для трёх различных углов φ
4. По данным измерений постройте графики (экспериментальный и теоретический) зависимости периода колебаний от длины нити. Все графики постройте на одной координатной плоскости.
5. Проделайте опыт для металлического и пластмассового шариков, измеряя время, за которое амплитуда колебаний маятника уменьшается в 2,7 раз . Объясните полученные результаты.
6. По данным измерения периода колебаний определите величину ускорения свободного падения.

Контрольные вопросы.

1. Для какого из двух шариков, и при какой длине нити точность определения **g** (п.5 предыдущего раздела) будет наибольшей?
2. Можно ли с помощью используемых в эксперименте маятников определить разницу ускорений свободного падения, измеренных на Северном полюсе и на экваторе?

III цикл. Электромагнитные колебания, переменный ток.
Лабораторная работа №1 - III.
LC – генератор.

Цель: ознакомиться с работой генератора высокой частоты.

Оборудование: лабораторный макет LC генератора; осциллограф С1-73; щиток питания (жёлтое гнездо – накал, голубое – анодное напряжение, клемма ⊥).

Содержание и метод выполнения работы.

Не трогая ручек настройки и переключателей приборов, внимательно ознакомиться с описанием лабораторной работы.

Схема генератора собрана на вакуумном триоде для того, чтобы вспомнить разделы физики, рассматривающие взаимодействие зарядов и поведение электронов в электрических полях.

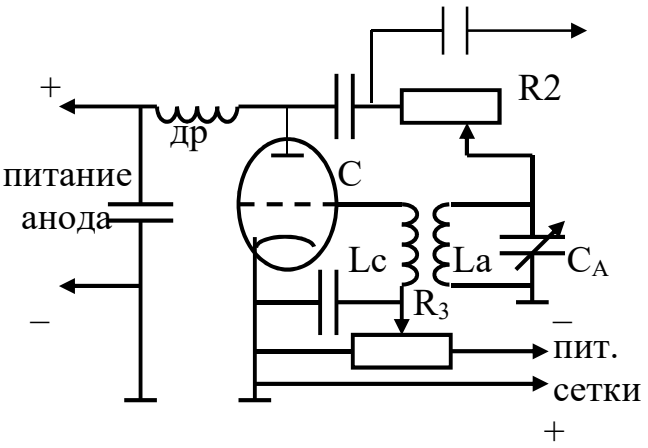


рис 2.

Возникновение собственных колебаний (автоколебаний) возможно в системе, в которой имеются источник энергии I, колебательный элемент III и специальное устройство (клапан или ключ) II, способное своевременно и требуемыми порциями вводить в колебательный элемент энергию источника, необходимую для компенсации потерь. Все эти элементы находятся между собой в жёсткой взаимосвязи. Это означает, что клапан управляет движением системы, так как через него колебательный элемент (выход) воздействует на вход системы, передавая туда часть энергии, которая воздействует снова на колебательную систему, компенсируя в ней потери. Но в то же время движение системы управляет работой клапана, заставляя его открываться в нужный момент.

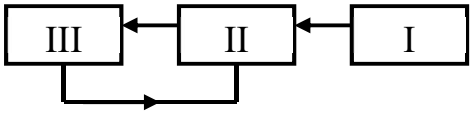


Рис 1

Такие взаимные воздействия характерны для любой автоколебательной системы и называются *обратной связью.* Благодаря самоуправлению возникают устойчивые незатухающие колебания. В схеме, изображённой на рис 2 , роль клапана играет управляющая сетка лампы. Цепь обратной связи осуществляется катушкой L_C, индуктивно связанной с катушкой L_A анодного колебательного контура. При включении анодного питания через контур L_AC_A происходит бросок тока, вызывающий появление в этом контуре колебаний. Если бы в контур не подводилась энергия, колебания были бы затухающими. Благодаря обратной связи колебания в контуре индуктируют ЭДС в катушке связи L_C.

усиленные лампой, эти колебания вновь поступают в колебательный контур, компенсируя имеющиеся потери энергии. Очевидно, что не затухающие и не возрастающие по амплитуде колебания возможны только в том случае, когда поступление энергии от источника в единицу времени равно потере, то есть расходу энергии за то же время.

Следует учитывать, что в начале процесса самовозбуждения амплитуда колебаний в контуре мала и поэтому для получения требуемых значений амплитуды необходимо, чтобы поступление энергии в контур превышало потери. В этом случае колебания в начальной стадии процесса будут нарастать. Для получения стационарного значения амплитуды необходимо, чтобы, начиная с некоторого значения амплитуды, потери росли быстрее, чем пополнение энергии, получаемое от источника. Указанные свойства присущи нелинейной системе, роль которой играет здесь лампа.

Иными словами можно сказать, что самовозбуждение генератора возможно при создании в стационарном режиме необходимой амплитуды колебаний в цепи обратной связи (баланс амплитуд) и необходимой фазы колебаний в той же цепи (баланс фаз). То есть генератор возбудится только в том случае, когда затухание в цепи обратной связи будет полностью компенсировано усилением лампы. Кроме того, колебания, поступающие в анодную цепь лампы, должны совпадать по фазе с теми, которые имеются в анодном контуре.

Так как лампа поворачивает фазу подводимых колебаний на 180^0, то для выполнения условия выполнения баланса фаз необходимо повернуть по фазе эти колебания ещё на 180^0. В схеме, изображённой на рис. 2, такой поворот фазы осуществляется соответствующим включением катушки L_C обратной связи.

Частота колебаний, создаваемых автогенератором, зависит от параметров L_A и C_A, а амплитуда колебаний определяется величиной обратной связи. Обратная связь определяется коэффициентом взаимной индукции M между L_C и L_A. В небольших пределах обратную связь можно изменять сопротивлением R_2.

Самовозбуждение возможно лишь при $M>RC_A / S$, где R, C_A – параметры контура, а S – крутизна характеристики лампы.

При $M=RC_A / S$ колебания срываются.

На рис. 3 приведена зависимость амплитуды автоколебаний от коэффициента M при выборе рабочей точки на на прямолинейном участке характеристики лампы.

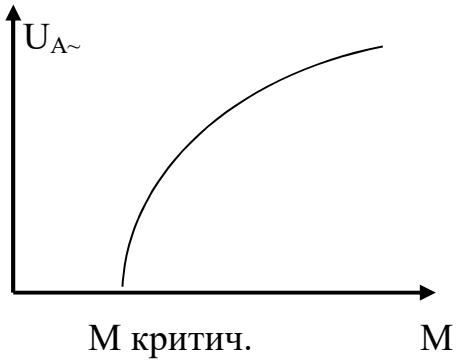


Рис 3.

Выбор рабочей точки A на анодно-сеточной характеристике лампы производится изменением отрицательного напряжения смещения U_C сопротивлением R_3 (рис. 2).

Если выбранный таким образом рабочий участок характеристики окажется криволинейным (рабочая точка A^{I}), то форма колебаний на выходе будет отличаться от формы колебаний на входе. То есть сигнал исказится. Если же использовать прямолинейный участок характеристики (рабочая точка А), формы колебаний на входе и на выходе будут взаимно соответствовать друг другу и сигнал не исказится (рис 4).

Порядок выполнения работы.

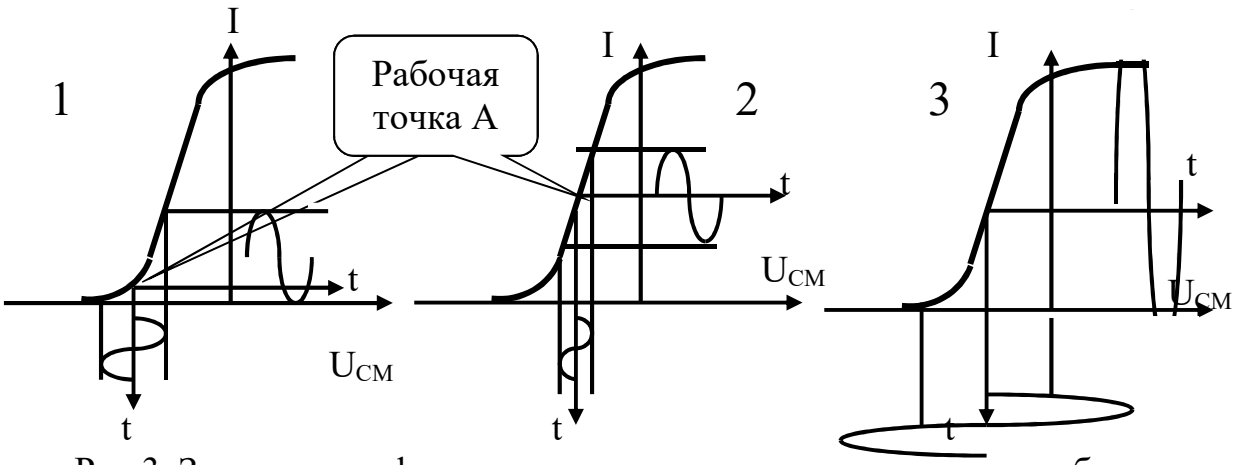


Рис 3. Зависимость формы сигнала на выходе усилителя от выбора рабочей точки и от амплитуды входного сигнала.

1. Изучить принципиальную схему установки.
2. Ознакомиться с передней панелью осциллографа и с органами управления лабораторного макета.
3. Включить питание осциллографа.(0,1 μs / дел.; 0,5 В / дел.).
4. Подать питание на генератор, для этого необходимо подключить к нему ⊥ (белый провод) к клемме на щитке питания, затем подключить напряжение накала лампы (желтый провод к желтому гнезду), а после этого подать на схему анодное питание +А (голубой провод включить в голубое гнездо щитка питания).
5. Добиться устойчивого изображения на экране, манипулируя в разумных пределах органами управления осциллографа и лабораторного макета.
6. Определить влияние на форму осциллограмм следующих элементов схемы: C_3; R_3; R_2.
7. Зарисовать осциллограммы для пункта 6.
8. Выключить питание осциллографа. Отключить от щитка питания желтый и голубой провода.

Контрольные вопросы.

1. Что такое баланс фаз и баланс амплитуд?
2. Что такое положительная обратная связь?
3. Как можно подобрать рабочую точку?
4. Для чего нужен в этой схеме колебательный контур?
5. Что такое стабильность частоты и от чего она зависит?
6. Как и почему влияет R_3 на форму колебаний?

Лабораторная работа №2 – III.
Осциллографические методы измерения частоты.

Цель: понять причину получения на экране фигур Лиссажу, оценить точность измерения частот этим методом; научиться использовать возможности этого метода наблюдать искажения формы колебаний.

Оборудование: генератор Г3-34; щиток питания ~6 В (жёлтое гнездо и гнездо ⊥).

Содержание и метод выполнения работы.

Общие сведения: широкое распространение при измерении частоты синусоидальных и импульсных периодических сигналов получили осциллографические методы измерений. Это объясняется возможностью их использования в широком диапазоне частот (10 – 20 мГц), простотой и достаточно высокой точностью результатов измерений. Эти методы относятся к методам сравнения, при которых частота исследуемого сигнала определяется путём сравнения с частотой образцового генератора. При этом в качестве индикаторного устройства используется осциллограф. В этой работе используется метод интерференционных фигур (фигур Лиссажу).

При изменении частоты синусоидальных или импульсных периодических сигналов синусоидальный сигнал образцового генератора подаётся на вход канала горизонтального отклонения и используется для получения развёртки (разворачивания изображения по горизонтали), а сигнал измеряемой частоты – на вход вертикального отклонения (рис 1). Частоту образцового генератора изменяют до тех пор, пока на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) осциллографа не будет получено устойчивое изображение какой-нибудь фигуры – фигуры Лиссажу. Устойчивое изображение фигуры наблюдается лишь в том случае, когда частоты сигналов исследуемого и образцового генераторов равны или относятся друг к другу как целые числа. Если сигнал исследуемой частоты гармонический, то при равенстве частот на экране наблюдается простейшая фигура – эллипс (частный случай - окружность или прямая линия).

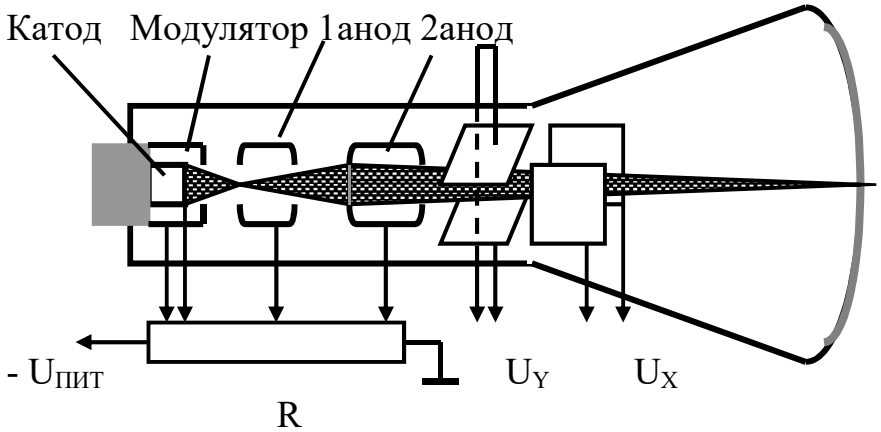


Рис 1.

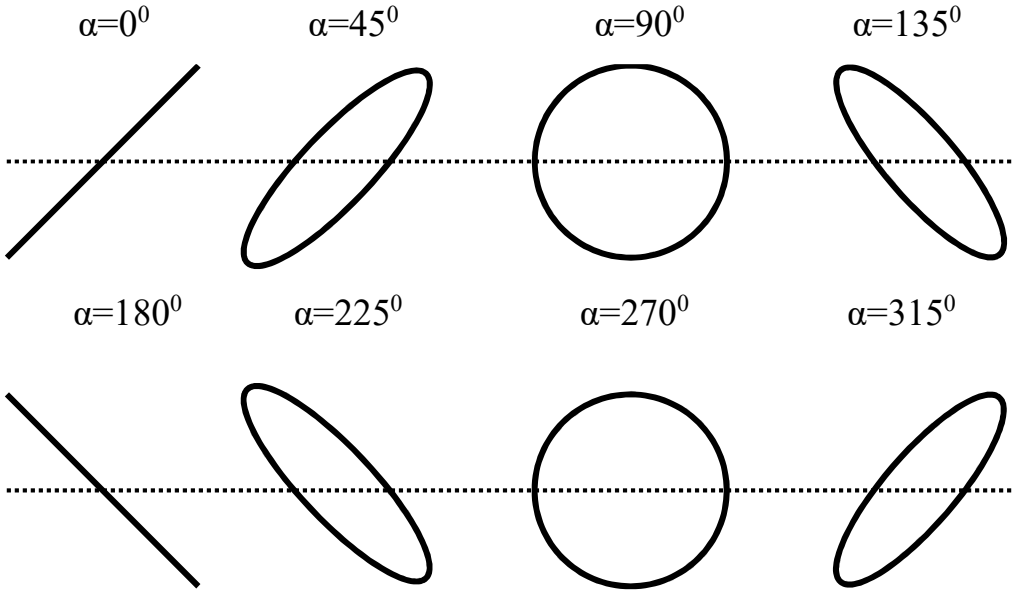
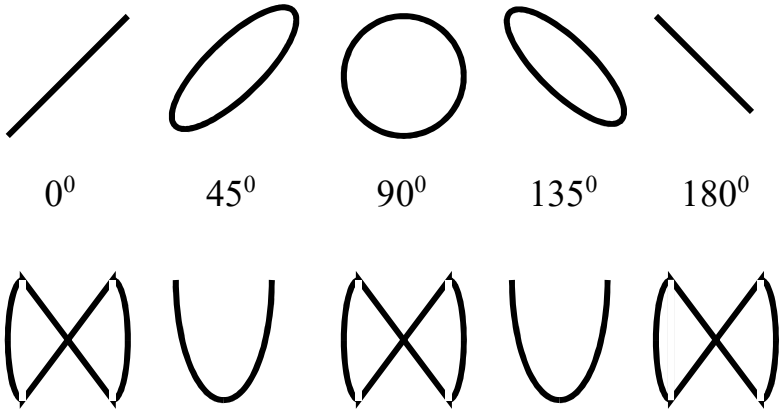


Рис 2

По форме фигур Лиссажу можно определить отношение частот. Для этого мысленно вписывают фигуру в прямоугольник так, чтобы петли фигуры касались его сторон. Число точек касания фигурой сторон прямоугольника



$F_X/F_0=1$

$F_X/F_0=0,5$

даёт отношение частот напряжений, отклоняющих электронный луч по этим направлениям. Определить частоту можно по формуле:

$$f_X = \frac{n}{m} f_O,$$

где n – число точек касания фигуры Лиссажу с вертикальной линией;
m – число точек касания фигуры Лиссажу с горизонтальной линией.

При небольшой разнице частот фигура на экране медленно вращается, проходя все фазовые соотношения от 0 до 360^0. Разницу частот Δf можно определить, если заметить время изменения фазы на 360^0, т.е. период T. Тогда $\Delta f=1/T$. Так можно определить разность частот до долей герца.

Погрешность измерения частоты методом интерференционных фигур зависит от точности градуировки генератора образцовой частоты и от стабильности сравниваемых частот.

Абсолютная погрешность измерения частоты определяется в основном погрешностью установки частоты образцового генератора.

Фигуру Лиссажу можно построить, графически получая геометрическое место точек U_X и U_O на плоскости XOY, если каждая точка соответствует одному и тому же моменту времени.

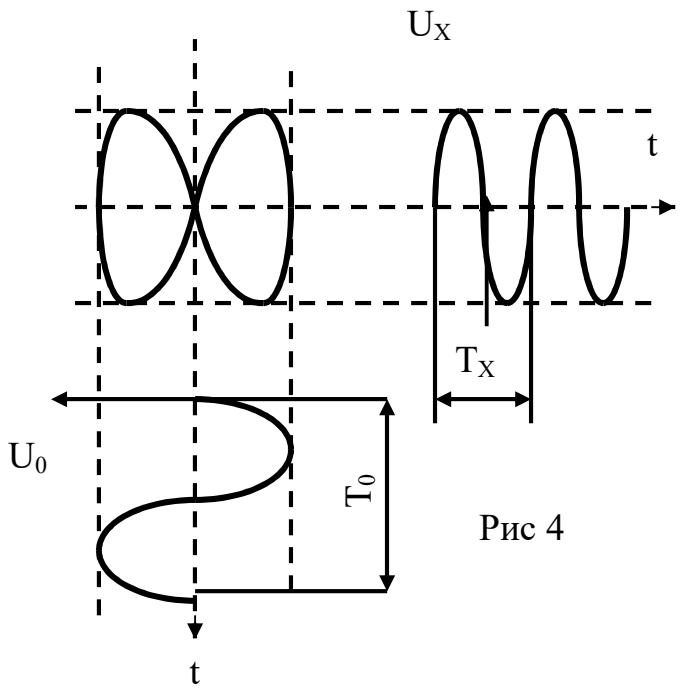


Рис 4

Практический способ построения приведён на рис 4.

Порядок выполнения работы.

1.Включить питание осциллографа и звукового генератора и дать им прогреться 4 – 5 минут.

2.В качестве источника стабильных колебаний (эталонной частоты) в этой работе применяется сеть промышленной частоты (6 В, 50 Гц). Включите жёлтый провод в жёлтое гнездо щитка питания.

3.Установите на звуковом генераторе частоту 50 Гц и получите на экране осциллографа устойчивое изображение фигуры Лиссажу. Обратите внимание на слегка искажённую форму окружности.

4.Прокалибруйте шкалу генератора на частотах 25; 50; 100; 150 и200 Гц. Все полученные данные занесите в таблицу.

Контрольные вопросы.

1.Объясните причины возникновения на экране фигур Лиссажу.

2.Оцените точность данного метода измерения частот.

3.Объясните причины искажений формы окружности.

Лабораторная работа №3 – III.
Резонансная кривая последовательного колебательного контура.

Цель: построить резонансную кривую колебательного контура. вычислить индуктивность катушки колебательного контура.

Оборудование: измеритель добротности Е9-5А, катушка индуктивности

Содержание и метод выполнения работы.

Замкнутая электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности L и конденсатор C, в которой могут возбуждаться электрические колебания, называется колебательным контуром (КК). Колебания ток и напряжения в КК связаны с переходом (превращением) энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно. Процессы накопления электрической и магнитной энергии, а также убыль части энергии из за тепловых потерь в КК определяются ёмкостью C, индуктивностью L и активным сопротивлением R.

Если в КК включить источник электрических гармонических колебаний, то в цепи вначале возникнут сложные колебания, представляющие собой сумму собственных затухающих колебаний и вынужденных гармонических колебаний. Через некоторое время собственные колебания затухнут и останутся только вынужденные (установившийся режим). Время затухания собственных колебаний в КК определяется декрементом затухания δ или добротностью Q.

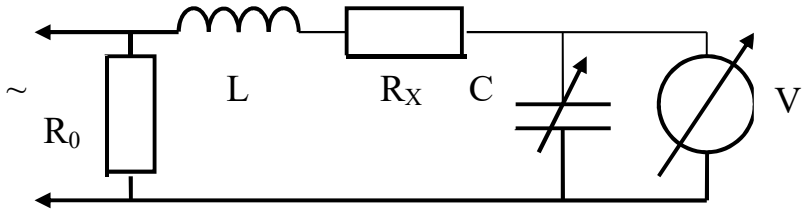


Рис 1

Кривые зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты ω называются резонансными кривыми. По существу это амплитудочастотные характеристики КК (рис 2). При значениях ω, близких к резонансной частоте $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ в КК имеет место резкое увеличение амплитуды вынужденных колебаний (резонанс).

С повышением частоты сопротивление ёмкостной цепи уменьшается и ток в ней растёт, сопротивление индуктивной цепи увеличивается, а ток в ней уменьшается.

На резонансной частоте ω_0 реактивные сопротивления становятся численно равными. При этом токи индуктивной и ёмкостной ветвей также равны (резонанс токов).

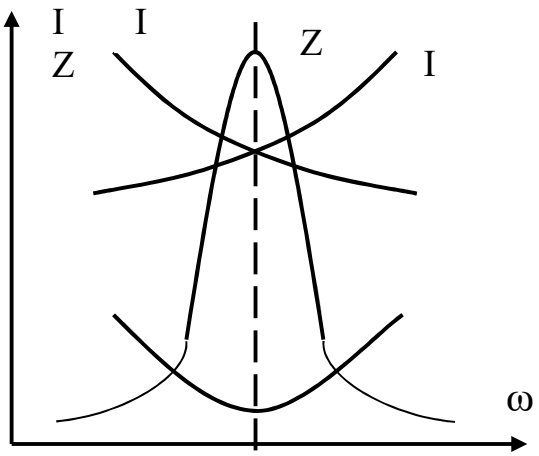


Рис 2 ω_0

Зависимость тока в контуре или напряжения на контуре от частоты подводимого напряжения или тока называется резонансной кривой (рис 3), где U_O - напряжение на контуре при резонансе, U – напряжение на контуре при расстройке.

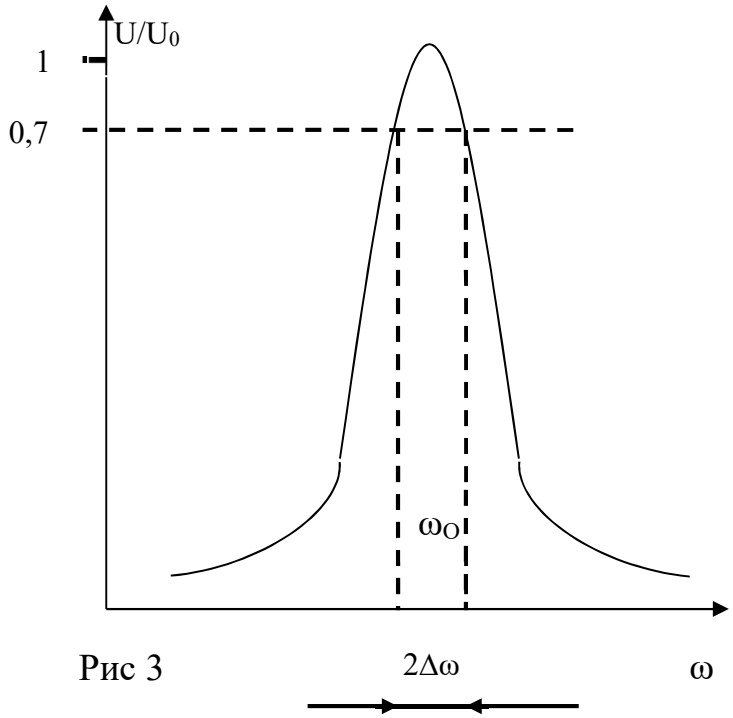


Рис 3

Частотная избирательность КК определяется его полосой пропускания $2\Delta\omega$, где $\Delta\omega$ – разность между ω_0 и частотой, при которой амплитуда тока или напряжения на контуре в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при резонансе. В данной работе для исследования характеристик КК используется прибор под названием *куметр* (или Q – метр). Действие куметров основано на использовании резонансных явлений, что позволяет измерение добротности сочетать с измерением резонансным методом индуктивности, ёмкости, собственной резонансной частоты и ряда других параметров испытуемых элементов.

Упрощенная схема куметра приведена на рис 4. Он содержит три основные части: генератор высокой частоты, измерительный контур и высокочастотный электронный вольтметр V. Исследуемая катушка индуктивности L_X включается в измерительный контур последовательно с образцовым конденсатором C_O переменной ёмкости и безреактивным резистором связи R_O. Через резистор R_0 в контур вводится от генератора напряжение U_O требуемой высокой частотыω. Возникающий в контуре ток создаёт падение напряжения U_C на конденсаторе C_O, которое измеряется электронным вольтметром V.

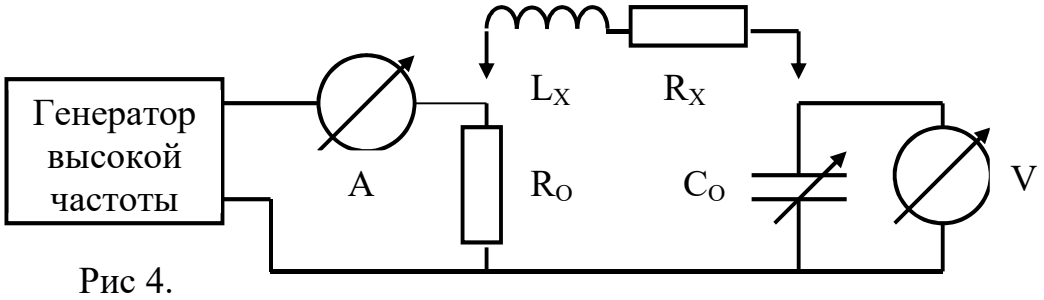


Рис 4.

Входное сопротивление электронного вольтметра V очень велико; потери в конденсаторе C_O ничтожно малы. Поэтому при малом сопротивлении резистора связи, не превышающем 0,1 Ом, можно считать, что активное сопротивление контура в основном определяется *сопротивлением потерь исследуемой катушки.*

Изменением ёмкости C_0 измерительный контур настраивают в резонанс с частотой ω генератора по максимальным показаниям вольтметра V. При этом в контуре будет протекать ток $I_P \approx \frac{U_O}{R_X}$, создающий на конденсаторе падение напряжения $U_C = I_P \frac{1}{\omega C_O} \approx \frac{U_O}{R_X \omega C_O}$.

Учитывая, что при резонансе $\frac{1}{\omega C_O} = \omega L_X$, находим:

$$U_C = U_O \frac{\omega L_X}{R_X} = U_O Q_L ,$$

где $Q_L = \frac{\omega L_X}{R_X}$ - добротность катушки L_X на частоте ω. Следовательно, показания вольтметра V пропорциональны добротности Q_L .

Максимальных значений показания вольтметра V достигнут при выполнении условия $\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$. При Q »1 $\omega \approx \omega_O$.

Порядок выполнения работы.

1. Подготовьте прибор к работе. Для этого включите его и дайте прогреться 2 – 3 минуты. Ручкой "установка К" установите стрелку прибора "коэффициент уровня К" на нулевое деление. Затем ручкой "нуль Q" установите стрелку куметра на нулевое деление. И в завершение ручкой "установка К" установите стрелку того же прибора на деление 1.

2. На 3 - 4 частотах генератора в пределах диапазона 45 – 75 мГц, запишите ёмкости конденсатора С , при которых будет получен резонанс. Для этого на каждой из этих частот изменяйте ёмкость контура ручкой "ёмкость pF", добиваясь максимального отклонения стрелки прибора, т.е. резонанса.

3. На этих же частотах запишите показания шкалы измерителя добротности контура Q (амплитуда в условных единицах), поддерживая коэффициент К на уровне 1.
4. Вычислите индуктивность катушки L.

5. Постройте частотную характеристику колебательного контура вблизи частоты 50 мГц. Для этого на заданной частоте изменением ёмкости контура настройте его в резонанс. Затем, изменяя частоту генератора в одну и в другую стороны от резонансной частоты, запишите значения частот и соответствующие им показания вольтметра V. В этом опыте напряжение, измеряемое прибором, следует записывать в условных единицах.

6. Используя построенный график, определите полосу пропускания колебательного контура.

Контрольные вопросы.

1.Можно ли по частотной характеристике колебательного контура сделать выводы об избирательности этого контура.

2.Есть ли связь между формой частотной характеристики и чувствительностью приемника, имеющего такой колебательный контур.

3.(Дополнительный вопрос) Как в порядке измерений п.5 меняется добротность колебательного контура?

Лабораторная работа №4 – III.
Релаксационный генератор на газонаполненной лампе.

Цель: исследовать зависимость частоты колебаний, вырабатываемых генератором от от изменений R и C.

Оборудование: лабораторный стенд с релаксационным генератором не газонаполненной лампе; источник питания; осциллограф.

Содержание и метод выполнения работы.

1. *Несамостоятельная проводимость газового столба.*

Действие ряда ионизирующих факторов (космическое излучение, фотоэлектронная эмиссия, естественный радиоактивный фон и пр.) обусловливает присутствие в газе некоторого количества остаточных ионов, которые способствуют возникновению тока через газовый промежуток.

Если имеется электронная лампа с двумя холодными электродами, пространство между которыми заполнено разреженным газом, то при отсутствии электрического поля ионы газа и свободные электроны находятся в состоянии беспорядочного хаотического движения.

При подаче напряжения на электроды лампы ионы под действием электрического поля будут двигаться к отрицательно заряженному электроду – катоду, а электроны – к положительно заряженному электроду – аноду. В лампе возникает электрический ток. Такой вид газового разряда называют несамостоятельным.

Следует обратить внимание на то что при ионной проводимости газов *не соблюдается закон Ома.* Вольтамперная характеристика в этом случае имеет довольно сложный характер. В случае несамостоятельной электропроводности получается график, показанный на рис 1. Только при небольших значениях U график имеет вид прямой, т.е.

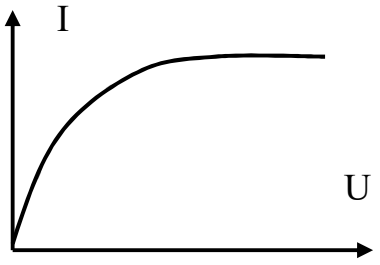


Рис 1

закон Ома приближенно сохраняет силу; с ростом U кривая загибается и, начиная с некоторого напряжения – обычно нескольких десятков вольт, - переходит в горизонтальную прямую. Это означает, что, начиная с некоторого напряжения, ток сохраняет постоянное значение, несмотря на увеличение напряжения. Это постоянное, не зависящее от напряжения значение величины тока называют *током насыщения*. Нетрудно понять смысл полученных результатов. Вначале с ростом напряжения увеличивается число ионов, проходящих за единицу времени через сечение разряда, т.е. увеличивается ток I, однако, как бы быстро ни двигались ионы, число их, проходящее через это сечение за единицу времени, не может быть больше, чем общее число ионов, создаваемых в единицу времени внешним ионизирующим фактором.

2. *Самостоятельная проводимость газового столба.*

Если после достижения тока насыщения в газе продолжать *значительно* повышать напряжение, ток внезапно, скачком резко возрастёт. Скачок тока показывает, что число ионов сразу резко возросло. Причиной этого является само электрическое поле.

При сравнительно небольших значениях напряжённости поля соударения ионов, движущихся в электрическом поле, с нейтральными молекулами газа происходят так же, как соударения упругих шаров. Однако при достаточной напряжённости поля кинетическая энергия, накопленная ионом между двумя столкновениями, может оказаться достаточной для того, чтобы ионизировать нейтральную молекулу при столкновении. В результате образуется новый свободный электрон и положительно заряженный остаток – ион. Такой процесс ионизации называют *ударной ионизацией*, а ту работу, которую нужно затратить, чтобы оторвать электрон от атома, - *работой ионизации.* Величина этой работы зависит от строения атома и поэтому различна для разных газов.

В результате ударной ионизации увеличивается число ионов и электронов в газе, причём в свою очередь они под влиянием поля тоже приходят в движение под действием электрического поля и могут произвести ударную ионизацию новых атомов. Ионизация в газе быстро достигает очень большой величины. Описанный процесс был назван *ионной лавиной.* Величина напряжения зажигания зависит от конструкции лампы, от выбора газа и от давления газа, которые определяют соответственно характер изменения электрического поля между электродами, энергию ионизации, длину свободного пробега электрона и иона от столкновения до столкновения, от которой зависит кинетическая

энергия, которую частица успевает накопить до момента столкновения. От давления зависит и время рекомбинации. От выбора газа зависит цвет свечения.

3.*Генерация несинусоидальных колебаний.*

Существенным отличием генератора релаксационных колебаний от генераторов синусоидальных колебаний является отсутствие свободных (без источника энергии) колебаний -в релаксационном генераторе имеется лишь один накопитель энергии, например, ёмкость. Процесс получения колебаний состоит в том, что энергия источника поступает сначала в накопитель. После того как энергия в нём достигнет определённого значения, открывается путь для стока энергии, причём обычно сток энергии (разряд накопителя) происходит значительно быстрее заряда. Далее вновь начинается накопление энергии, и процесс повторяется.

На газоразрядных лампах с двумя устойчивыми состояниями (проводящим и непроводящим) легко создавать релаксационные генераторы, использующие явление заряда и разряда конденсатора (рис 2).

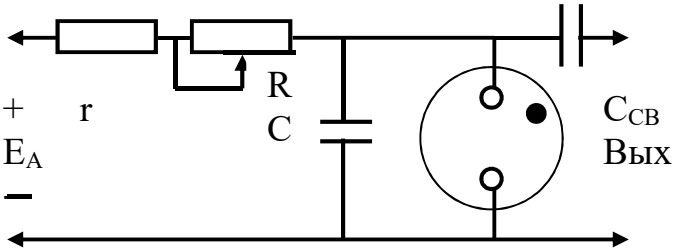


Рис 2

При включении источника питания E_A происходит заряд конденсатора C до напряжения зажигания $U_З$. При зажигании диода конденсатор C начинает быстро разряжаться через лампу. Время зарядки и разрядки конденсатора зависит от элементов схемы r, R, C и параметров лампы.

Пусть $r+R=R_A$.

Тогда постоянная времени заряда $\tau_З=R_AC$,

разряда $\tau_Р=R_i\,C$, где

R_i – внутреннее сопротивление открытой лампы.

Т.к. обычно $R_i<<R_A$, то $\tau_Р<<\tau_З$.

Лампа погаснет, когда напряжение на конденсаторе снизится до значения меньшего напряжения горения $U_Г$. Сопротивление закрытой лампы можно считать практически бесконечно большим. Затем начинается повторный цикл зарядки и разрядки конденсатора. В схеме возникнут релаксационные колебания, близкие по форме к пилообразным (рис 3).

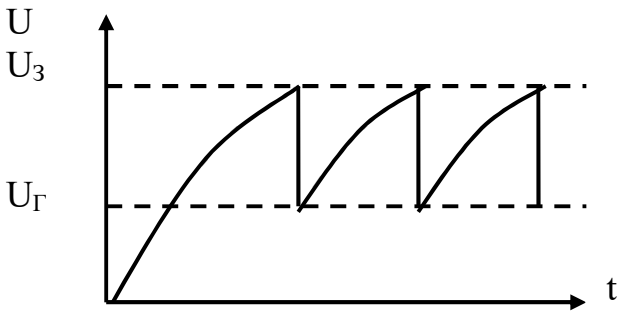


Рис 3

Чем больше E_A по сравнению с $U_З$ и $\tau_З$ по сравнению с $\tau_Р$, тем круче экспоненты и кривая $U_A(t)$ ближе к пилообразной форме.

Частота генерируемых колебаний определяется выражением:

$$\frac{1}{f} = T \approx R_A C \ln \frac{E_A - U_Г}{E_A - U_З}$$

Амплитуда колебаний зависит от разности $U_З$-$U_Г$ и для данного типа лампы – величина постоянная. Частоту генерируемых колебаний регулируют обычно изменением сопротивления R.

Порядок выполнения работы.

1.Ознакомиться с лабораторным стендом, приборами и принципиальной схемой установки, не включая питания и не трогая органов управления.

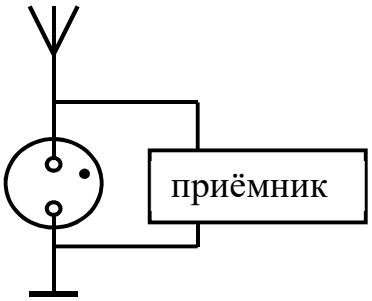
2.Включить питание осциллографа. Подать питающее напряжение на релаксационный генератор (голубое гнездо щитка питания). Включить тумблером громкоговоритель на стенде и прослушать работу генератора при различных значениях R и C. Обратить внимание на свечение газа около одного из электродов лампы при различных режимах работы релаксационного генератора.

3.*Выключить громкоговоритель.* Зарисовать осциллограммы колебательного процесса для нескольких значений R и C. Определить по осциллограммам влияние изменения R и C на период T релаксационных колебаний. Численное значение частоты и амплитуды колебаний определять при помощи осциллографа.

4.Построить функциональные зависимости T=f(R) и T=f(C).

5.Выключить питание приборов.

Контрольные вопросы.



1.Что такое длина свободного пробега электрона.

2.Для чего в схеме стоит r и что может произойти, если его убрать?

3.Что случится, если C_{CB} закоротить проводником ?

4.У какого электрода лампы наблюдается интенсивное свечение? Почему?

5.Как изменится $U_З$, если увеличить давление газа?

6.Почему конденсатор С не разряжается полностью?

7.Объясните работу газонаполненного разрядника антенны в качестве устройства защиты приёмника от близких грозовых разрядов?

8.Почему генератор на газонаполненной лампе не может работать на больших частотах?

9.(Дополнительный вопрос) Почему достаточно часто при вспышке молнии наблюдается насколько последовательных разрядов?

Лабораторная работа №5 – III.
Контур ударного возбуждения.

Цель: построить зависимость T(R) и τ(R) по полученным экспериментальным данным. Сопоставить $T_{TEOP} = \frac{2\pi}{\omega(R)}$ и $\tau_{TEOP} = \frac{2L}{R}$. Сделать выводы.

Оборудование: лабораторный стенд с контуром ударного возбуждения; осциллограф С-1-73, №1; генератор прямоугольных импульсов ТМ-557; магазин сопротивлений.

Содержание и метод выполнения работы.

Колебательный контур (КК) – один из важнейших элементов большинства радиотехнических устройств.

Если конденсатор С КК зарядить от какого-либо источника тока, а затем подключить к нему катушку индуктивности L, конденсатор станет разряжаться через эту катушку и сопротивление R. в цепи КК потечёт ток. Ток в цепи благодаря действию э.д.с. самоиндукции

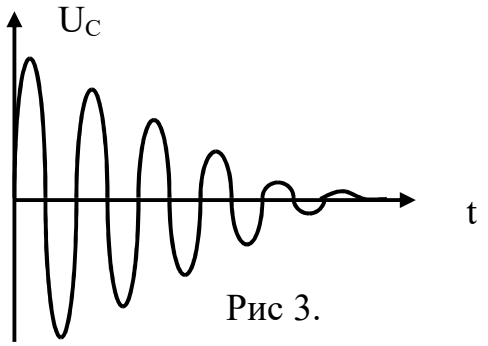


Рис 3.

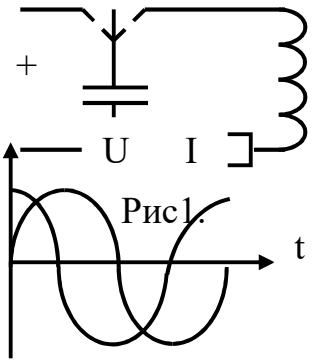


Рис1.

Рис 2.

нарастает постепенно: сначала со значительной скоростью, а по мере разряда конденсатора скорость изменения тока будет уменьшаться, и к моменту, когда конденсатор С разрядится полностью, скорость изменения тока также будет равна нулю, а сама величина тока достигнет максимального значения. За счёт энергии, накопленной магнитным полем катушки, благодаря току самоиндукции при сворачивании магнитного поля, ток продолжает течь в том же направлении, постепенно убывая. Разряженный конденсатор будет заряжаться, сменив полярность на обкладках. Теперь энергия накапливается электрическим полем конденсатора.

Когда она достигнет максимального значения, ток в контуре прекратится. В тот же момент конденсатор снова начнёт разряжаться. В контуре потечёт ток, но уже в обратном направлении. Он постепенно возрастёт до максимальной величины, а затем снова постепенно упадёт до нуля. Этот цикл составляет одно полное колебание. Затем колебательный процесс опять повторится.

Проходя по соединительным проводам и катушке, ток совершает работу по преодолению активного сопротивления R. Часть энергии электрических колебаний превращается при этом в тепло, которое рассеивается. вследствие этих неизбежных потерь колебания в контуре в течение малых долей секунды затухают.

Свободные колебания напряжения на конденсаторе U_C (t) в колебательном контуре описываются уравнением:

$$U_C(t) = U_O e^{-\frac{t_t}{\tau}} \cos(\omega t - \varphi_O) \qquad (1)$$

$$\text{Где } \tau = \frac{2L}{R}; \qquad \omega(R) = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Уравнение (1) справедливо при $\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$.

С ростом потерь(т.е. с увеличением R) затухание наступает быстрее.

При $\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$ возможен вариант зависимости U_C(t), изображённый на рис 4. Такой режим работы КК называется *апериодическим.*

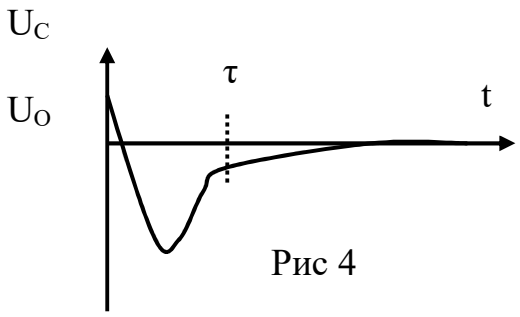


Рис 4

Под временем затухания τ следует понимать как время затухания амплитуды U_C (t) в 2,7 раза.

Для периодического возбуждения колебаний в КК в данной работе используется

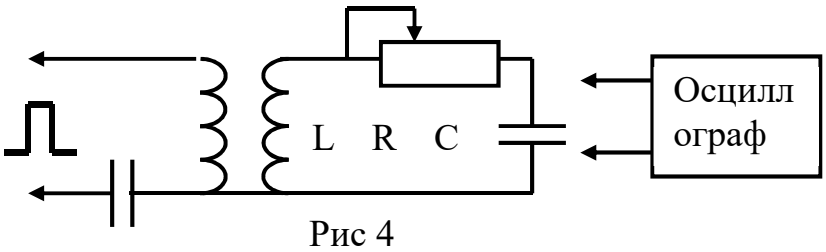


Рис 4

генератор импульсов с частотой следования импульсов ≈100 Гц. Колебательный контур состоит из конденсатора известной ёмкости C=0,25 мкФ и постоянной индуктивности (L= ? Гн). В контур в качестве изменяемого сопротивления R входит магазин сопротивлений.

Порядок выполнения работы.

1.Включите питание осциллографа и генератора импульсов и не трогая ручек настройки приборов, дать им прогреться 2 – 3 минуты.

2.Магазин сопротивлений привести в состояние R=0. Лёгкими движениями ручек настройки генератора и осциллографа добейтесь на экране неподвижного изображения колебательного процесса.

3.Используя сетку на экране осциллографа, определите период T собственных колебаний КК и максимальную амплитуду этих колебаний.

4.Постепенно увеличивая затухание (т.е. увеличивая R), наблюдайте последовательную серию осциллограмм. Оцените, меняется ли при этом период T.

5.Запишите величину сопротивления R, при котором колебание $U_C(t)$ становится апериодическим.

6.Вычислите L катушки, входящей в колебательный контур.

Контрольные вопросы.

Каковы требования к периоду колебаний генератора импульсов в данном эксперименте?

Как соотносятся между собой период колебаний и время затухания при переходе к апериодической зависимости?

Лабораторная работа №6 - III.
Изучение явления резонанса в электрическом колебательном контуре.

Цель: обнаружить явление резонанса в электрическом колебательном контуре путём исследования зависимости силы тока в нём от частоты переменного напряжения, а также исследовать влияние активного сопротивления на форму резонансной кривой , а ферромагнитного сердечника на резонансную частоту.

Оборудование: генератор звуковой ЗГ-10, магазин сопротивлений, конденсатор бумажный 1 мкФ, миллиамперметр 100 mA (№5, 10-20-40 mA), катушка от разборного лабораторного трансформатора, ферромагнитный сердечник.

Содержание и метод выполнения работы.

Электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, соединённых последовательно, называется колебательным контуром.

При включении колебательного контура в электрическую цепь сила переменного тока, протекающего через его элементы, зависит не только от амплитуды приложенного переменного напряжения, но и от его частоты. При постоянном значении амплитуды напряжения сила тока в контуре с возрастанием частоты увеличивается, проходит через максимум и убывает.

Такая зависимость силы тока в цепи от частоты объясняется следующим образом. На низких частотах ёмкостное сопротивление R_C конденсатора переменному току очень велико. С увеличением частоты это сопротивление убывает, поэтому сила тока возрастает.

Индуктивное сопротивление катушки R_L на низких частотах мало, но увеличивается с ростом частоты. На некоторой частоте f_0, называемой резонансной частотой цепи, индуктивное сопротивление катушки R_L становится равным ёмкостному сопротивлению конденсатора R_C.

$R_L = R_C$.

На более высоких частотах R_L превышает R_C. Возрастание индуктивного сопротивления сростом частоты приводит к убыванию силы тока в цепи на частотах, превышающих резонансную частоту.

Так как колебания напряжения на конденсаторе и катушке индуктивности при их последовательном соединении происходят в противофазе, при равенстве индуктивного и ёмкостного сопротивлений напряжения на них в любой момент времени одинаковы по модулю, но имеют противоположные знаки: $U_L = -U_C$.

Поэтому резонанс в последовательной электрической цепи переменного тока и называют резонансом напряжений. Сила тока в колебательном контуре при наступлении резонанса ограничивается лишь активным сопротивлением провода катушки R, т.к. при выполнении условия $R_L = R_C$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (R_L^2 - R_C^2)}} = \frac{U}{R}.$$

Условие резонанса $R_L = R_C$ в последовательной цепи переменного тока позволяет определить резонансную частоту f_0 по известным значениям индуктивности катушки L и ёмкости конденсатора C:

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad ; \qquad f_O = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

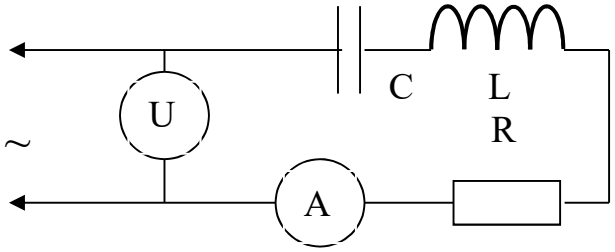
Таким образом, резонанс в последовательной цепи переменного тока наступает при совпадении частоты переменного тока f с собственной частотой колебательного контура f_O.

Порядок выполнения работы.

1.На звуковом генераторе ЗГ-10 установите ручки в следующие положения: затухание – 5 дБ; внутренняя нагрузка – включена; выходное сопротивление – 600 Ом; регулировка выходного напряжения – крайнее левое положение. Включите питание генератора.

2.Установите выходное напряжение генератора по его стрелочному прибору равным 10 В.

3.Изменяя частоту генератора от 20 до 20000 Гц, снимите показания миллиамперметра. Найдите частоту резонанса колебательного контура. Более подробно исследуйте область частот вблизи резонансной частоты. Запишите полученные данные в таблицу.



4.Включите последовательно с катушкой индуктивности и конденсатором резистор с сопротивлением 100 Ом и опять снимите частотную характеристику.

5.Введите в катушку ферромагнитный сердечник и ещё раз проведите эксперимент.

6.Все полученные данные занесите в таблицу.

Частота, Гц		30	...	20000
R=0	I_1			
R=100	I_2			
R=0	I_3			

7.По полученным результатам постройте графики. Ось частот выполните в логарифмическом масштабе.

Контрольные вопросы.

При каких условиях наступает резонанс в колебательном контуре?

Какими параметрами электрической цепи определяется сила тока в контуре при резонансе?

Лабораторная работа №7 – III.
Определение индуктивности катушки.

Цель: используя предложенное оборудование, определить индуктивность катушки.

Оборудование: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР-250, питаемый от щитка 6,3 В – жёлтое гнездо и ⊥); ключ; вольтметр ~6В; омметр; миллиамперметр АВО-5 (~25-50-120 mA, положение переключателя 120 mA); катушка от разборного трансформатора; ферромагнитный сердечник.

Содержание и метод выполнения работы.

В данной работе использован один из способов определения индуктивности катушки. Он основан на том, что проволочная катушка, включенная в цепь переменного тока, кроме активного сопротивления R, определяемого материалом, размерами и температурой проволоки, создаёт дополнительное сопротивление R_L, называемое индуктивным. Величина этого сопротивления пропорциональна индуктивности L и частоте колебаний f, т.е. $R_L = 2\pi fL$.

При этом полное сопротивление катушки Z переменному току определяется по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + R_L^2}\ .$$

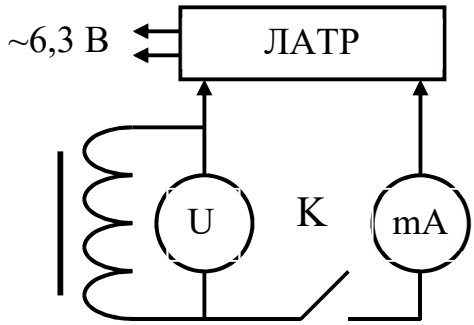
Из этих двух уравнений можно найти индуктивность:

$$L = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{Z^2 - R^2}\,. \qquad (1)$$

Следовательно, чтобы определить индуктивность катушки, необходимо знать частоту переменного тока, полное и активное сопротивление этой катушки. Активное сопротивление измеряют омметром. Полное сопротивление находят, пользуясь законом Ома для цепи переменного тока: $Z = \frac{U}{I}$.

Частота f равна частоте сети переменного тока, т.е. 50 Гц.

Порядок выполнения работы.



1.Измерьте сопротивление катушки омметром.

2.Установите ручку лабораторного автотрансформатора в крайнее правое положение (по часовой стрелке), ключ – в положение «выключено».

3.Подключите ЛАТР к щитку питания – один провод в жёлтое гнездо (~6,3 В), а другой – в гнездо ⊥ (заземление). Включите ключ К.

4.Увеличивая напряжение U от нулевого значения, измеряйте силу тока I, не допуская зашкаливания стрелок приборов.

5.Результаты измерений тока и напряжения запишите в таблицу.

U, В

I, mA

6.Определите полное сопротивление цепи и убедитесь, что оно не зависит от напряжения.

7.По формуле (1) вычислите индуктивность катушки. При расчётах в некоторых случаях можно значением R пренебречь (если оно мало в сравнении с Z). Тогда значение L приближённо равно

$$L = \frac{Z}{2\pi f}\,.$$

8.Внесите в катушку сердечник и повторите опыт. Сравните индуктивности катушки без сердечника и с сердечником. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы.

Почему для постоянного тока катушки трансформатора имеют малое сопротивление, а для переменного – большое?

Почему индуктивное сопротивление катушки возрастает при внесении в неё железного сердечника?

Почему при размыкании цепи с индуктивностью в месте разрыва проскакивает искра?

Как изменится индуктивное сопротивление катушки, если увеличится частота переменного тока?

IV цикл. Электромагнитные колебания.
Переменный ток.

Лабораторная работа №1 – IV.
Амплитудная характеристика усилителя низкой частоты.

Цель: исследовать зависимость выходного напряжения усилителя $U_{ВЫХ}$ от напряжения на его входе $U_{ВХ}$, а также зависимость формы сигнала от $U_{ВХ}$.

Оборудование: усилитель У-1 с измерителем $U_{ВЫХ}$, осциллограф С1-68, звуковой генератор ЗГ-10.

Содержание и метод выполнения работы.

Электронные устройства, предназначенные для усиления электрических сигналов в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц, называются усилителями низкой частоты (УНЧ). Такие УНЧ имеются в каждом радиоприёмнике, телевизоре, магнитофоне, компьютере и т.д. Важными характеристиками УНЧ являются коэффициент усиления, выходная мощность, чувствительность, частотная характеристика, динамическая характеристика. Степень искажения входного сигнала зависит от свойств и режима работы усилительного элемента, а также от схемы УНЧ.

В качестве усилительного элемента можно использовать разные типы транзисторов и радиоламп. В этой работе рассмотрим работу УНЧ на полевом транзисторе и на вакуумном триоде. Эти электронные приборы имеют очень похожие характеристики, что позволяет одновременно для двух типов усилительных элементов обсудить интересующие нас вопросы.

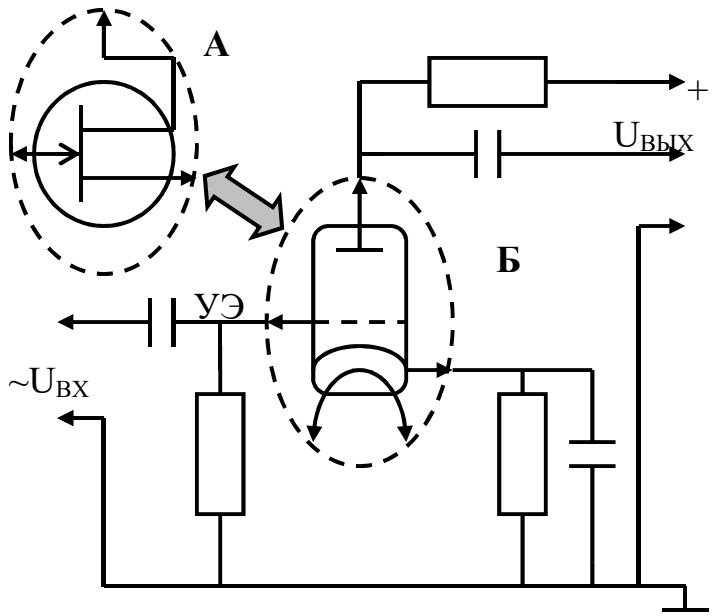


Рис 1.

Можно собрать две аналогичные схемы, отличающиеся друг от друга в принципе только применёнными усилительными элементами – полевым транзистором (**А**) и вакуумным триодом (**Б**) (рис 1).

Для того, чтобы обеспечить работу транзистора или лампы в активном режиме при всех изменениях входного сигнала $U_{ВХ}$ на управляющий электрод УЭ подаётся *отрицательное напряжение смещения* $U_{СМ}$ (рис 2а). На этот же электрод от источника сигнала поступает ~U (рис 2б).

Результирующее напряжение на $U_{УЭ}$ складывается из напряжения смещения $U_{СМ}$ и напряжения сигнала $U_{ВХ}$ (рис 2в).

Как видно из рисунка, пульсирующее напряжение на управляющем электроде $U_{УЭ}$ при всех изменениях ~$U_{ВХ}$ остаётся отрицательным. Если это отрицательное напряжение не окажется ниже напряжения, при котором усилительный элемент (лампа, транзистор) будет заперт (режим отсечки), то усилитель будет работать в активном режиме (отсутствуют режимы отсечки и насыщения).

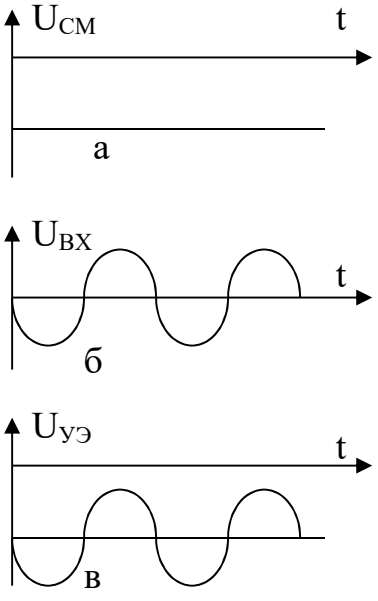


Рис 2.

Посмотрим теперь, как отразится на выходном сигнале неправильный выбор напряжения смещения $U_{СМ}$. Если $U_{СМ}$ выбрано чрезмерно малым, то при отрицательной полуволне напряжения сигнала усилительный элемент на некоторое время оказывается в режиме отсечки и теряет усиление (лампа или транзистор заперты). При малой амплитуде входного сигнала режима отсечки не будет, но рабочая точка окажется на криволинейном участке характеристики. Выходной сигнал в обоих случаях окажется искажённым. Если же $U_{СМ}$ выбрано чрезмерно большим, то при положительных полуволнах напряжения сигнала усилительный элемент переходит в режим насыщения, что также ведёт к искажению выходного сигнала (рис 3-1).

Даже при правильном выборе напряжения смещения (рабочей точки) при увеличении амплитуды входного сигнала до значений, при которых начинают использоваться нелинейные участки характеристики, выходной сигнал будет искажаться тем сильнее, чем большие амплитуды будет иметь

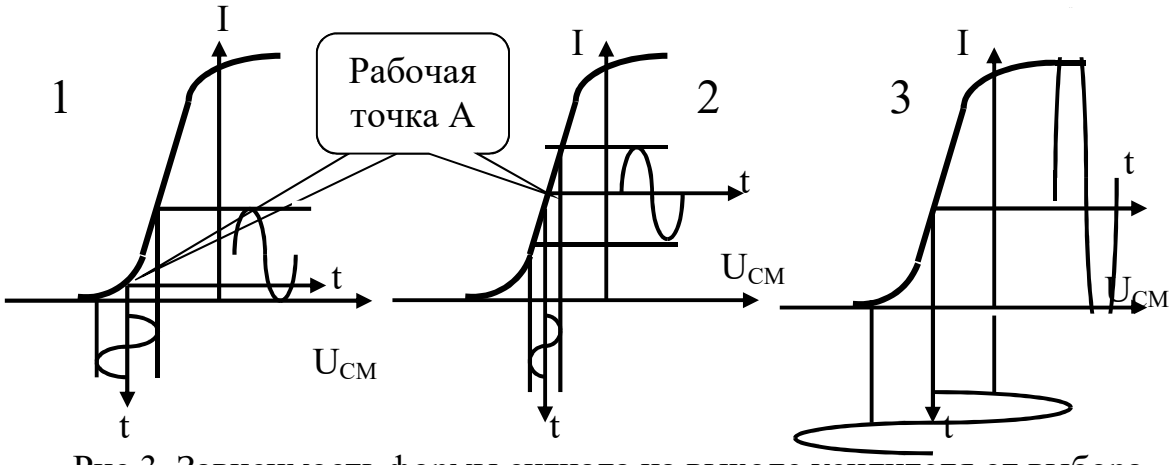


Рис 3. Зависимость формы сигнала на выходе усилителя от выбора рабочей точки и от амплитуды входного сигнала.

$U_{ВХ}$ (рис 3-3).

Порядок выполнения работы.

1. Установить переключатели и ручки управления генератора в следующие положения:

   «РЕГ. ВЫХ. НАПР.» - в крайнее левое положение;

   «ВЫХ. СОПРОТИВЛЕНИЕ» - 600;

   «ВНУТРЕННЯЯ НАГРУЗКА» - ВКЛ;

   «ЗАТУХАНИЕ» - 40 и 10 дБ.
2. Включить питание генератора и осциллографа.
3. Включить питание усилителя У-1 (чёрный провод - ⊥, красный провод – в красное гнездо щитка питания).
4. Установить частоту генератора 500 Гц.
5. Снять амплитудную характеристику усилителя У-1 (зависимость $U_{ВЫХ}$ усилителя от $U_{ВХ}$), изменяя входное напряжение ручкой «РЕГ. ВЫХ. НАПР.» генератора ЗГ-10, учитывая, что показания вольтметра генератора из-за включенного «ЗАТУХАНИЯ», которое составляет 40+10=50 дБ, следует уменьшать в 320 раз. (смотри «Приложения»). $U_{ВХ}$ следует изменять от 0 В до значений, при которых $U_{ВЫХ}$ перестаёт изменяться.

   Измерения $U_{ВЫХ}$ производить при помощи осциллографа .
6. По осциллограммам исследовать влияние амплитуды $U_{ВХ}$ на форму сигнала на выходе усилителя.
7. Проделать такие же эксперименты на частоте 1000 Гц.
8. построить амплитудные характеристики усилителя для двух частот (500 и 1000 Гц). Сделать выводы.

Контрольные вопросы.

1.Что называется коэффициентом усиления УНЧ по напряжению?

2.Почему коэффициент усиления зависит от частоты?

3.Что называется чувствительностью УНЧ?

4.Что такое амплитудная характеристика усилителя?

5.В каком случае искажения сигнала будут минимальными?

Лабораторная работа №2 - IV.
Частотные характеристики связанных колебательных контуров.

Цель: Исследовать зависимость токов в связанных контурах от частоты при различных коэффициентах связи.

Оборудование: Лабораторная установка с колебательными контурами, генератор высокой частоты ГЧ-42, высокочастотный вольтметр ВЗ-15 (или ламповый вольтметр)

Содержание и метод выполнения работы.

Колебательные контуры, связанные так, что колебательная энергия одного из них может передаваться другим, называются связанными контурами.

Степень связи характеризуется коэффициентом связи $k_{св}$, который может принимать значения от 0 до 1, или от 0% до 100%. В радиоцепях, содержащих связанные контуры, $k_{св}$ имеет обычно величину от долей процента до нескольких процентов, изредка до десятков процентов. Коэффициент связи, равный 100%, практически не встречается.

Контур, получающий энергию от генератора, называется первичным. Контур, получающий энергию от первичного контура, называется вторичным.

Вторичный контур оказывает обратное воздействие на первичный, уменьшая ток в нём. Можно сказать, что вторичный контур вносит в первый некоторое дополнительное сопротивление, называемое вносимым сопротивлением. Когда вторичный контур настроен в резонанс с частотой генератора, то он вносит в первичный контур только активное сопротивление, которое тем больше, чем сильнее связь. Величина вносимого сопротивления характеризует переход энергии из первичного контура во вторичный. А когда вторичный контур не настроен точно в резонанс на частоту генератора, то он вносит в первичный контур не только активное сопротивление, но и некоторое реактивное сопротивление, индуктивное или емкостное, в зависимости от того, в какую сторону расстроен вторичный контур. Таким образом, вторичный контур, будучи сам расстроен, нарушает также и настройку первичного контура.

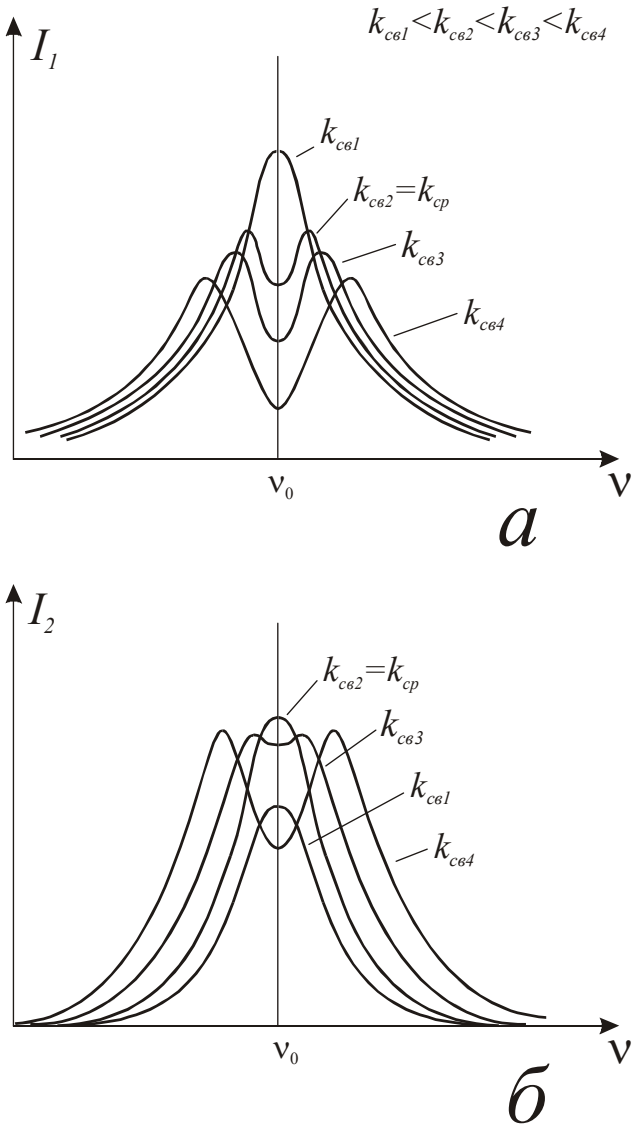


Рис. 1. Графики зависимостей токов в связанных контурах от частоты при различных коэффициентах связи.

Если два контура, связанные один с другим, настроены на одну и ту же частоту, то

процессы, происходящие в такой системе, очень сильно зависят от коэффициента связи (Рис. 1). При малом коэффициенте связи зависимость первичного тока I_1 от частоты (рис. 1,а) приближается к резонансной кривой первичного контура, рассматриваемого отдельно. Вторичный ток I_2 мал и изменяется с частотой по кривой (рис. 1,б), представляющей собой приблизительно произведение резонансных кривых первичного и вторичного контуров, взятых в отдельности. При увеличении коэффициента связи кривая первичного тока становится шире и его максимальное значение уменьшается. В то же время вторичный ток возрастает, а острота его резонансной кривой уменьшается. Такой процесс продолжается до тех пор, пока связь не достигнет величины, при которой активное сопротивление, вносимое вторичным контуром в первичный при резонансе, станет равным активному сопротивлению первичного контура. Эта связь называется критической связью. При ней вторичный ток достигает своего наибольшего возможного значения.

Кривая вторичного тока в непосредственной близости к резонансу несколько шире, чем резонансная кривая отдельного вторичного контура, а кривая первичного тока имеет два максимума. При ещё большей связи максимумы кривой первичного тока выражены более резко и раздвинуты дальше один от другого. В то же время появляются два максимума и на кривой вторичного тока, которые с увеличением связи также становятся более резко выраженными и отодвигаются назад один относительно другого. Если добротности контуров на равны, то двугорбость в кривой вторичного тока появляется при связи несколько большей критической.

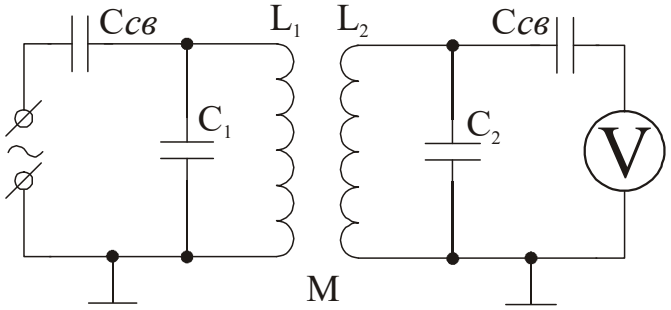


Рис 2. Схема лабораторной установки.

Связи между контурами бывают нескольких видов. Наиболее часто встречается индуктивная, или трансформаторная, связь (рис. 2), образуемая взаимной индукцией между катушками контуров.

Емкостная связь осуществляется с помощью конденсатора.

Коэффициент связи для индуктивной связи между контурами:

$$k_{св} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Даже при сближении катушек вплотную одна к другой $k < 40-50\%$. К своему предельному значению ($k = 100\%$) коэффициенты связи приблизится только в том случае, когда катушки будут намотаны на общий стальной сердечник.

Коэффициент взаимоиндукции численно равен ЭДС взаимоиндукции, возникающей в одном контуре при равномерном изменении тока на *1А* в 1 сек в другом контуре.

$$M = \frac{L_1}{\frac{\Delta l_1}{\Delta t}} = \frac{L_2}{\frac{\Delta l_2}{\Delta t}}$$

<u>Порядок выполнения работы:</u>

1. Включить питание ВЧ генератора, дать ему прогреться 2-3 минуты.
2. Ручкой «регулировка уровня К» (рис. 3) установить минимальное расстояние между L_1 и L_2 (то есть максимальный уровень К).
3. Ручкой "частота" ВЧ генератора плавно изменяйте частоту в диапазоне частот $0{,}3-1 МГц$. По шкале вольтметра наблюдайте характер изменения напряжения (в условных единицах) на вторичном контуре от частоты.

Снимите зависимость напряжения на втором контуре от частоты. В точках экстремумов характеристики пользуйтесь ручкой плавного изменения частоты генератора. Количество точек отсчёта должно быть достаточным для построения такой сложной зависимости. Результаты измерения запишите в таблицу.

4. Запишите результаты измерений при $k_{мин}$ и $k_{ср}$.

Постройте графики зависимости U_2 от частоты.

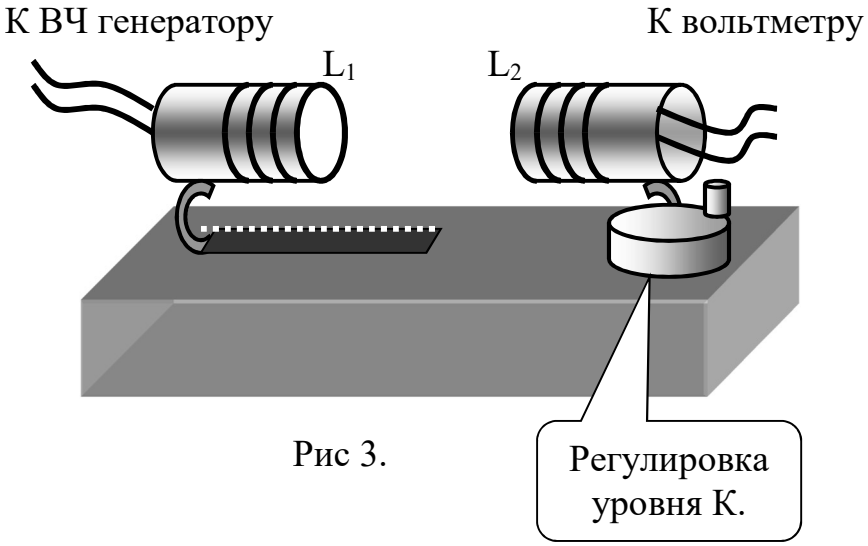


Рис 3.

Лабораторная работа №3 – IV.
Определение длины звуковой волны и скорости звука в воздухе методом резонанса.

<u>Цель</u>: Получите от источника звуковых колебаний стоячие звуковые волны в трубе, закрытой с одного конца и определите длину звуковой волны и скорость распространения продольных волн в воздухе.

<u>Оборудование</u>: лабораторная установка с трубой – резонатором и с перемещающимся поршнем внутри неё, источник и приёмник звуковых колебаний; усилитель звуковой частоты со стрелочным индикатором; звуковой генератор, линейка.

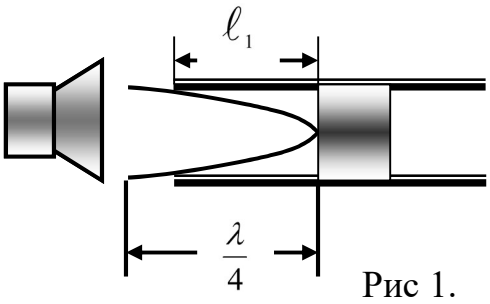


Рис 1.

Содержание и метод выполнения работы.

Если поместить источник звука у открытого конца трубы и перемещать поршень, отодвигая его от открытого конца трубы, то можно заметить, что, по мере увеличения столба воздуха, звук постепенно усилится, достигнет максимума, а затем начнёт затухать. Повторив эту процедуру несколько раз, можно найти довольно точно такую длину воздушного столба, при котором громкость будет максимальной. При этом собственная частота воздушного столба равно частоте источника звука и поэтому воздушный столб колеблется в унисон с ним. Это будет первое положение резонанса. (Рис. 1)

Фактически длина l_1 колеблющегося воздуха несколько больше столба воздуха в трубе. $\frac{1}{4}\lambda = l_1 + e$. Длина e – это дополнительная длина, которая должна быть добавлена к длине столба воздуха l_1, чтобы получить более точную длину колеблющегося воздуха. Эта поправка называется краевой коррекцией.

Если двигать поршень дальше, можно получить другое его положение, при

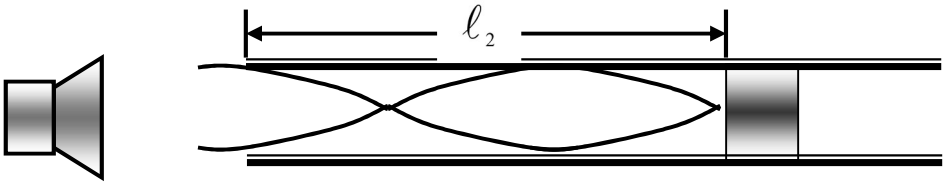


Рис 2.

котором громкость опять увеличится. Длина столба воздуха при втором резонансе равна l_2 (рис. 2). Как и прежде, пучность находится у открытого конца трубы, а узел – на поверхности поршня. При этом длина столба воздуха в трубе приблизительно составляет $\frac{3}{4}\lambda$. Краевая коррекция остаётся такой же, как и прежде, поэтому $\frac{3}{4}\lambda - \frac{1}{4}\lambda = l_2 + e - (l_1 + e)$. Получаем $\frac{1}{2}\lambda = l_2 - l_1$, и поправка сокращается.

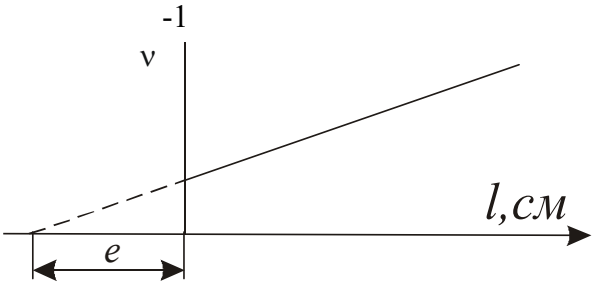


Рис. 3

Скорость звука определяется по известной формуле $\upsilon = \nu\lambda$.

Для того, чтобы показать, что длина столба воздуха обратно пропорциональна частоте, нужно измерить l на нескольких частотах и построить график зависимости ν^{-1} от длины l (рис. 3). В отрицательной части графика видна краевая поправка e. Она равна примерно 0,6R, где R – радиус резонансной трубы.

Порядок выполнения работы.

1. Ручку «регулировка выхода» поверните против часовой стрелки в крайнее левое положение. Частоту генератора установите равной 1100 Гц. Включите питание приборов. (Усилитель подключается к щитку питания 5В. Черный проводник – к $\perp$, красный – к красному гнезду щитка.)
2. После того, как приборы прогреются (2-3 минуты), установите выходное напряжение генератора в такое положение, при котором стрелка индикатора усилителя отклонится на несколько делений. Перемещая поршень от открытого конца трубы, отыщите такое его положение при котором наблюдается значительное усиление звука (показания индикатора значительно увеличатся). Увеличьте регулировкой выхода генератора сигнал так, чтобы стрелка индикатора отклонилась почти на всю шкалу.
3. Перемещением поршня подстройте установку для получения максимальных показаний индикатора. Измерьте длину воздушного столба при первом и втором резонансе и вычислите длину стоячей волны l и бегущей волны $\lambda = 2l$.
4. Вычислите скорость распространения звука в воздухе при данной температуре и влажности.
5. Повторите эксперименты на частотах 1500, 1800Гц.
6. Постройте график зависимости ν^{-1} от l.

Контрольные вопросы.

1. Укажите, в каких местах воздушного столба при втором резонансе частицы воздуха колеблются с наибольшей амплитудой. Какова у них разность фаз?
2. В каких местах амплитуда колебаний равна нулю?

Лабораторная работа №4 – IV.
Частотная характеристика усилителя низкой частоты (УНЧ).

Цель: исследовать зависимость коэффициента усиления УНЧ от частоты.

Оборудование: лабораторный УНЧ с измерителем $U_{ВЫХ}$; звуковой генератор;

Содержание и метод выполнения работы.

Электронные устройства, предназначенные для усиления электрических сигналов в диапазоне от 20Гц до 20 кГц, называют усилителями низкой частоты (УНЧ).

Такие УНЧ имеются в каждом радиоприёмнике, телевизоре, магнитофоне, компьютере. Важными характеристиками УНЧ являются: коэффициент усиления, мощность на выходе, чувствительность, частотная характеристика, полоса пропускания.

Электрические колебания подаются на вход усилителя от источника сигнала, в качестве которого могут выступать самые разнообразные устройства, например микрофон, звукосниматель, генератор и т.д.

Усиленный сигнал с выхода усилителя поступает к потребителю, называемому *нагрузкой.* Для УНЧ нагрузкой может быть динамик, телефон, резистор и т.д. В этой лабораторной работе нагрузкой являются динамик и эквивалентное сопротивление (т.е. резистор, имеющий такое же сопротивление, что и динамик), включаемые по выбору.

В соответствии с назначением усилителей основными показателями качества их работы являются степень усиления и степень искажения входного сигнала.

Коэффициентом усиления УНЧ по напряжению называется отношение напряжения $U_{ВЫХ}$ на выходе усилителя к напряжению $U_{ВХ}$ на его входе: $\kappa = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}$

При наличии в усилителе нескольких каскадов общий коэффициент усиления $\kappa_{ОБЩ}$ равен произведению коэффициентов усилений отдельных каскадов $\kappa_{ОБЩ}=\kappa_1 \kappa_2 \ldots \kappa_n$

В электрических цепях УНЧ имеются конденсаторы и катушки. Сопротивление этих элементов переменному току зависит от частоты. Поэтому от частоты зависит и коэффициент усиления УНЧ. Эта зависимость является недостатком усилителя. График зависимости коэффициента усиления УНЧ от частоты называется частотной характеристикой.

Неодинаковость коэффициента усиления УНЧ сигналов различной частоты

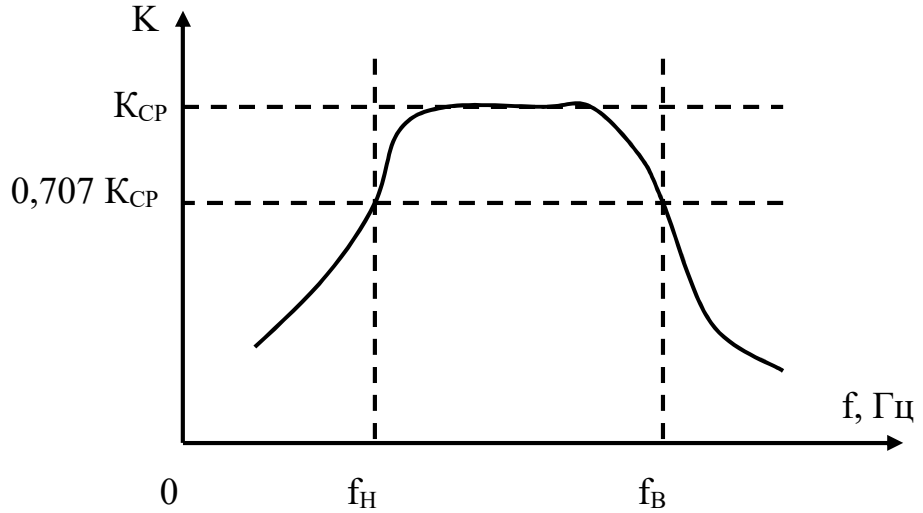


Рис 1.

приводит к возникновению частотных искажений. Снижение значения коэффициента усиления в области высоких и низких частот примерно на

30% остаётся практически незаметным для человеческого уха. На этом основании условно за верхнюю и нижнюю границы полосы пропускания УНЧ принимают такие частоты f_H и f_B, при которых коэффициент усиления составляет 0,707 его значения на средних частотах. Диапазон частот от f_H и f_B (рис.1) называется условно полосой пропускания усилителя.

Для удовлетворительного качества воспроизведения речи и музыки достаточной будет полоса пропускания УНЧ от 100 до 4000 Гц. Для высококачественного же воспроизведения необходимо расширить полосу пропускания примерно до пределов 20-20000Гц.

Напряжение на входе усилителя, при котором выходная мощность достигает номинального значения, определённого паспортом прибора, называется чувствительностью усилителя. Чувствительность УНЧ обычно измеряется в милливольтах.

Основные технические данные лабораторного УНЧ (паспорт УНЧ).

Сопротивление катушки громкоговорителя – 4,5 Ом.

Выходная номинальная мощность – 2 Вт.

Полоса частот, воспроизводимых УНЧ – 50-10000 Гц.

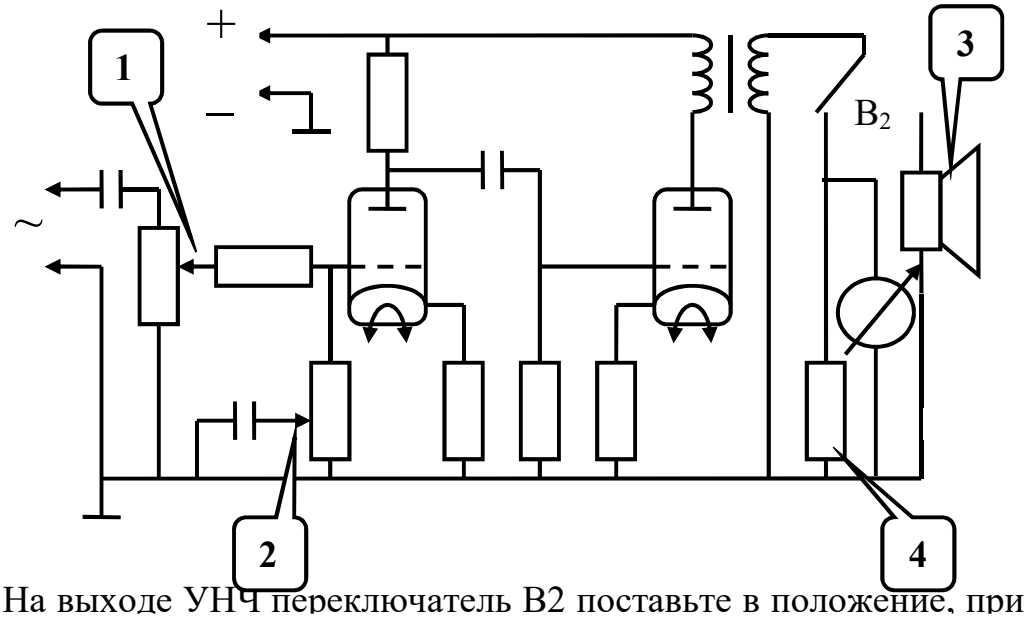
Диапазон частот, эффективно воспроизводимых громкоговорителем – 150-7000 Гц.

Регулировка тембра по высоким звуковым частотам – 7дб.

Порядок выполнения работы.

1. По паспорту УНЧ определите его номинальную мощность P_H и номинальное сопротивление нагрузки R_H. Вычислите номинальное выходное напряжение U_H.

$$P_H = \frac{U_H^2}{R_H}, U_H = \sqrt{R_H P_H}$$



2. На выходе УНЧ переключатель В2 поставьте в положение, при котором вмест отивление. Ручку ее правое

1 – регулятор громкости. 2 – регулятор тембра.
3 – громкоговоритель (4,5 Ом).
4 – эквивалент нагрузки (4,5 Ом).

Рис 2. Принципиальная схема УНЧ.

положение. Ручку регулятора громкости R_1 поставьте в крайнее правое положение.

3. На звуковом генераторе ЗГ-10 поставьте ручку "рег.вых.напр." в положение "меньше", в переключатель "множитель" – в положение "х10". Переключатель "вых. сопротивление" поставьте в положение 5000. Включите внутреннюю нагрузку ЗГ. Установите переключатель "затухание ДБ" в положение 55дБ.

4. Включите УНЧ и ЗГ. Установите частоту сигнала 7000Гц. Плавно увеличивая напряжение входного сигнала ручкой "рег.вых.напр." звукового генератора, следите за показаниями вольтметра "Uвых" на УНЧ. При достижении номинального значения напряжения U на выходе УНЧ вычислите напряжение на входе УНЧ, пользуясь стрелочным прибором ЗГ, контролируя положения переключателей "дб" на ЗГ и используя таблицу децибел (см приложения).

5. Убавьте уровень сигнала на входе усилителя на 20-30% и, не изменяя уровня сигнала на входе U_{BX}, изменяйте его частоту в пределах звукового диапазона. Вычислите значения коэффициента усиления УНЧ по напряжению в диапазоне от 20 гЦ до 20 кГц. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

частота (Гц)		20	40	60		10^3	$2\cdot10^3$	$4\cdot10^3$	$20\cdot10^3$
Регулятор тембра в левом положении.	Выходное Напряжение $U_{вых}$(В)								
	Коэффициент Усиления УНЧ, К								
Регулятор тембра в правом положении.	Выходное Напряжение $U_{вых}$(В)								
	Коэффициент усиления УНЧ, К								

6. Постройте частотные характеристики УНЧ и определите полосу пропускания (см.рис.1)

Ось частот лучше чертить в логарифмическом масштабе.

Контрольные вопросы.

1. Что называется коэффициентом усиления УНЧ по напряжению?
2. Почему коэффициент усиления зависит от частоты?
3. Что такое частотная характеристика УНЧ?
4. Что называется полосой пропускания усилителя?
5. Что такое номинальная мощность усилителя?
6. Что называется чувствительностью УНЧ?
7. Для чего нужны регуляторы тембра?

Лабораторная работа №5 –IV.
Изучение устройства и работы трансформатора.

Цель: определить коэффициент трансформации и изучит характер зависимости КПД трансформатора от величины нагрузки.

Оборудование: источник ~6,3 В (щиток питания – жёлтое гнездо и ⊥); трансформатор разборный, вольтметр ~6 В; катодный вольтметр А4 – М2; миллиамперметр ~50 и 250 mA; магазин сопротивлений №1, трансформатор 11-2; миллиамперметр ~100 mA.

Содержание и метод выполнения работы.

Трансформатор состоит из следующих частей: 1) сердечника, 2) обмоток, 3) каркаса, 4) деталей, стягивающих сердечник.

Сердечники (магнитопроводы) для уменьшения потерь на вихревые токи навиваются из полос или набираются из пластин, штампованных из специальной стали и, для уменьшения потерь на вихревые токи, покрываются тонким слоем изолирующего лака.

У низкочастотных трансформаторов магнитный поток первичной обмотки почти целиком пронизывает витки вторичной обмотки.

Коэффициентом трансформации называется отношение числа витков n_1 первичной обмотки I к числу витков n_2 вторичной обмотки II.

Отношение витков $\frac{n_1}{n_2}$ пропорционально отношению ЭДС и, если пренебречь падением напряжения на самих обмотках, отношению напряжений на обмотках в режиме холостого хода, т.е. при отключенной нагрузке. Пренебрегая потерями энергии в трансформаторе, можно считать отношение токов в обмотках обратно пропорциональным отношению напряжений. Тогда коэффициент трансформации выражается

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Во время работы трансформатора под нагрузкой часть энергии расходуется на потери в обмотках и в сердечнике. Коэффициент полезного действия трансформатора $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, где P_1 – мощность, потребляемая первичной обмоткой от источника, а P_2 – мощность, выделяемая во вторичной обмотке.

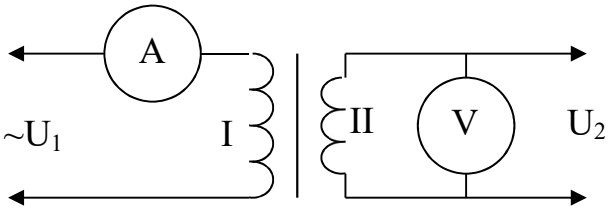


Рис 1. Режим холостого хода.

Порядок выполнения работы.

а. Отвинтите гайку – барашек и разберите разборный трансформатор. Намотайте на каркас №2 вторичной катушки приготовленный провод, считая витки. Закрепите выводы вторичной обмотки намотанной катушки клеммами.

b. Соберите трансформатор и подсоедините его первичную обмотку I к гнёздам щитка питания ~6,3 В (жёлтое гнездо и ⊥). Измерьте вольтметром со шкалой 7,5 В напряжение на первичной обмотке и вольтметром со шкалой 1,5 В напряжение на вторичной обмотке трансформатора (рис 1). Определите коэффициент трансформации К и вычислите число витков первичной обмотки трансформатора n_1.

c. Отключите разборный трансформатор от щитка питания.

d. Подключите к тем же клеммам щитка питания 6,3 В стенд с собранной лабораторной установкой, в которой находится исследуемый трансформатор ТР 11-2 (рис 2).

e. Установите переключателями магазина сопротивлений R сопротивление 0,8 Ом. Миллиамперметр mA_1 должен иметь предел измерений 100 mA, миллиамперметр mA_2 250 mA. Вольтметр V_2 со шкалой 1,5 В подсоедините к трансформатору ТР 11-2 к гнёздам Ø.

f. Необходимо измерять U_1; U_2; I_1 и I_2, изменяя сопротивление нагрузки трансформатора, при этом переключатель магазина сопротивлений x0,1 должен быть всегда в положении 0,8 Ом. Сопротивление нагрузки постепенно увеличивайте переключателями x1 Ом и x10 Ом. Когда показания миллиамперметра mA_2 упадут до очень малых значений, переключите его в режим измерения 50 mA.

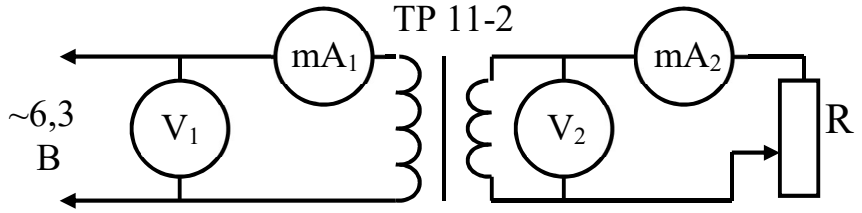


Рис 2

g. Следует учитывать, что в сопротивление нагрузки входит и внутреннее сопротивление миллиамперметра mA_2, которое равно **2 Ом на пределе измерений 250 mA и 6 Ом на пределе измерений 50 mA.**

h. Постройте график зависимости КПД трансформатора η от сопротивления нагрузки.

R магазина, Ом	R прибора, Ом	R нагрузки, Ом	Первичная цепь			Вторичная цепь			η %
			U_1, В	I_1, mA	P_1, Вт	U_2, В	I_2, mA	P_2, Вт	

Контрольные вопросы.

1. Почему сердечники трансформаторов собирают из пластин, изготовленных из специальной стали? Зачем их покрывают изолирующим лаком?
2. Почему при определении коэффициента трансформации напряжение измеряют при отключенной нагрузке (т.е. в режиме холостого хода)?
3. Почему КПД трансформатора η будет максимальным при равенстве сопротивлений нагрузки и вторичной обмотки трансформатора?

Лабораторная работа №6-IV.
Измерение глубины модуляции.

Цель: изучить принцип получения амплитудно-модулированных колебаний и научиться измерять коэффициент амплитудной модуляции осциллографическими методами.

Оборудование: высокочастотный генератор (Г4-42), звуковой генератор, осциллограф.

Содержание и метод выполнения работы.

Радиосвязь осуществляется излучением в пространство и последующим приёмом высокочастотной электромагнитной энергии. Для передачи информации высокочастотный сигнал модулируют, изменяя один из его параметров в соответствии с сигналом информации (звуковым, изображения и т.д.). Среди множества видов модуляции наибольшее применение имеют амплитудная и частотная модуляции.

В данной работе рассматривается амплитудная (АМ) модуляция, при которой воздействием низкочастотных колебаний изменяется амплитуда колебаний высокой частоты.

Процесс модуляции можно наглядно изобразить графически. На рис.1а показан график синусоидального звукового колебания, которое необходимо передать. Рис 1б изображает незатухающие (немодулированные) колебания

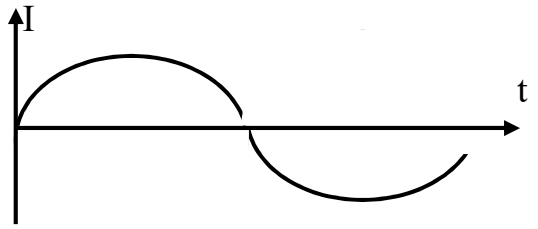


Рис 1а.

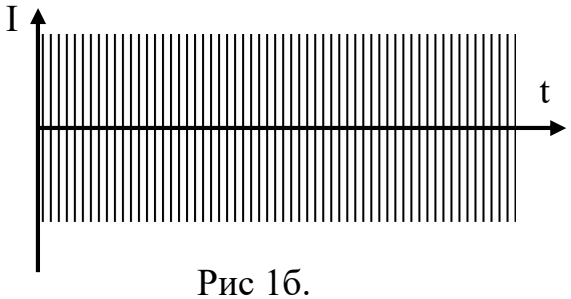


Рис 1б.

высокой частоты – несущие колебания.

На рис 1в показаны амплитудно-модулированные колебания, полученные в результате воздействия звуковых колебаний на колебания высокочастотные.

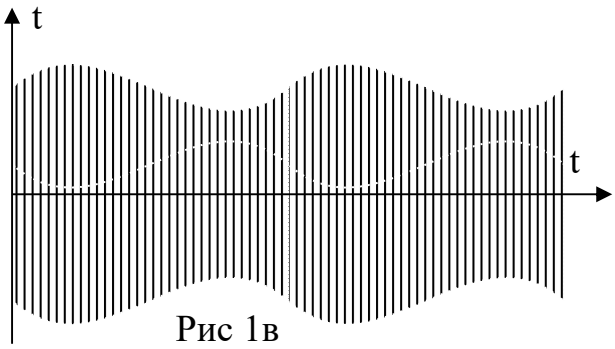
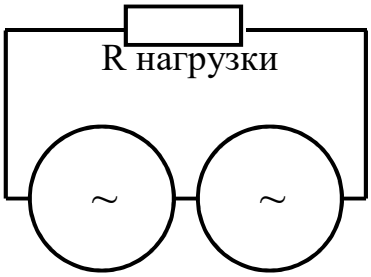


Рис 1в

Нельзя говорить, что модуляция есть наложение колебаний низкой частоты на колебания высокой частоты или что модулированный



Генераторы НЧ и ВЧ

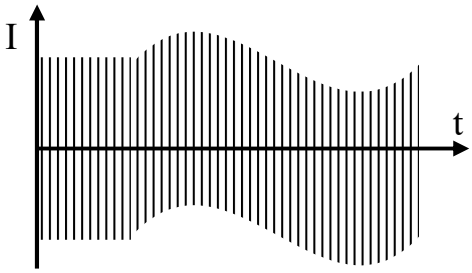


Рис 2.

ток есть сумма токов высокой и низкой частот. Суммарный ток имеет высокочастотную составляющую с неизменной амплитудой и не является модулированным колебанием (смотри рис 2). Рассмотрим физические процессы, протекающие при амплитудной модуляции (АМ).

Наиболее удобным будет вначале обратиться к методу получения АМ , который ранее использовался в маломощных телефонных передатчиках (рис 3). Генератор высокой частоты (ГВЧ) индуктивно связан с антенной (А), последовательно с которой включен угольный микрофон. Под воздействием звуковых колебаний мембрана микрофона колеблется, угольный порошок периодически сжимается мембраной и меняет своё сопротивление. Очевидно, что общее сопротивление цепи антенны, а следовательно, и ток в антенне изменяются по тому же закону, по которому меняется сопротивление микрофона.

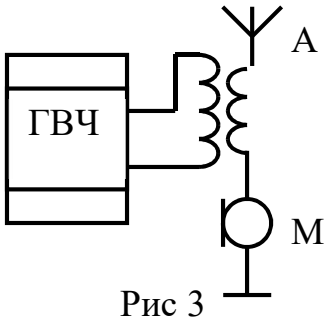


Рис 3

Процесс модуляции состоит в перемножении двух функций времени $[I + mF(t)]$ и $I_0 \sin f$, где F – низкая частота (модулирующая); f - высокая частота (несущая); m – коэффициент модуляции (см. ниже).

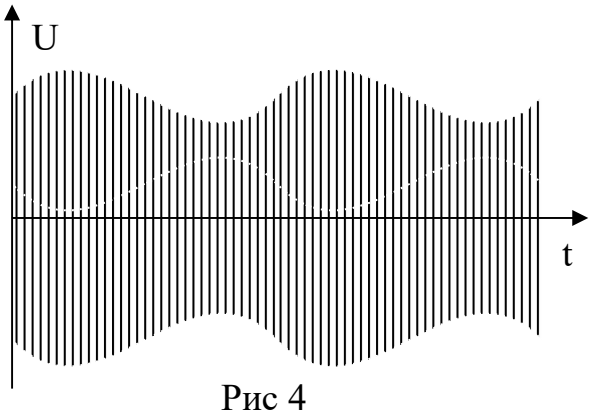


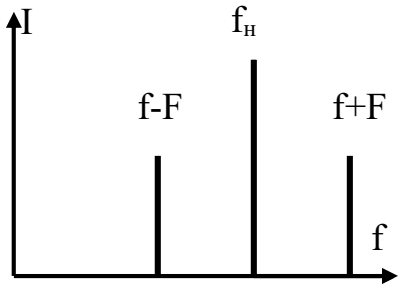
Рис 4

Результат этого перемножения может быть представлен следующим образом:

$$I = I_0(1 + m\sin Ft)\sin ft = I_0 \sin ft + mI_0 \sin Ft \sin ft = I_0 \sin ft + \frac{mI_0}{2}\left[\cos(f - F)t - \cos(f - Ft)\right]$$

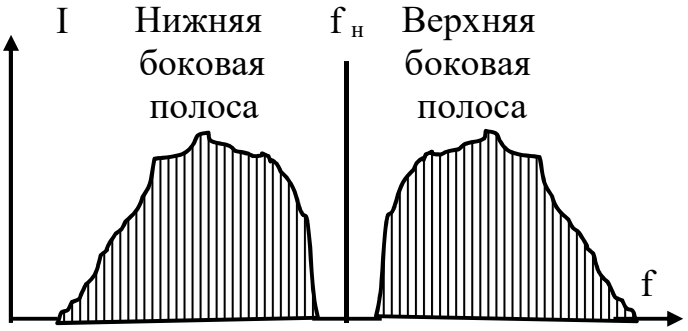
Здесь первый член уравнения выражает колебания несущей частоты f , а второй даёт значения частот модуляции, сдвинутых на равные расстояния относительно несущей частоты.

Следовательно, при АМ спектр частот модулированного сигнала состоит из несущей частоты $f_н$ и двух боковых полос – верхней и нижней, ширина каждой из которых равна ширине спектра модулирующего сигнала.. иными словами, спектр модулированного сигнала вдвое шире спектра самого модулирующего сигнала (рис 6).



Модуляция синусоидальным сигналом

Рис 5.



Модуляция спектром частот

Рис 6.

Амплитуды боковых колебаний одинаковы, но меньше амплитуды несущего колебания. При отсутствии модулирующего сигнала излучается только несущая частота.

В зависимости от силы воздействия звуковых колебаний на несущее колебание можно получать более или менее значительное изменение амплитуды колебаний высокой частоты или, как говорят, больший или меньший **коэффициент модуляции m** (глубину модуляции %).

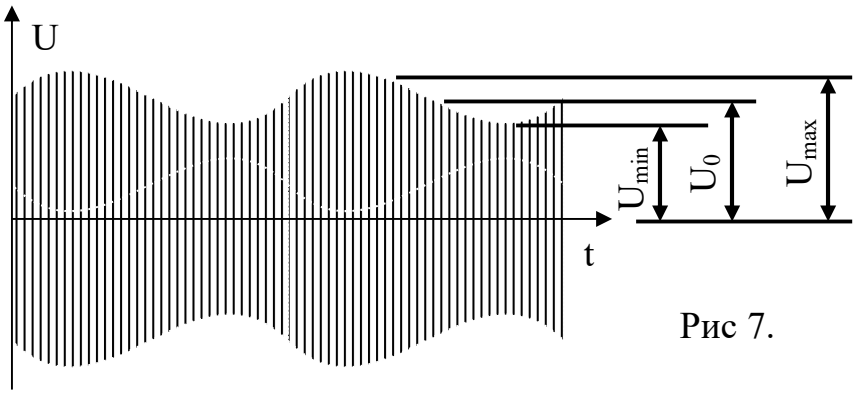


Рис 7.

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} 100 \ \% \qquad (1).$$

При отсутствии модуляции $U_{min}=U_{max}$ и, следовательно, m=0.

При максимально возможной глубине модуляции U_{min} =0, а m=100%.

Если ещё больше увеличить воздействие модулирующего сигнала, происходит *перемодуляция*, при которой в течении некоторых интервалов времени информация теряется, т.к. нет излучения. Возникает искажение сигнала (Рис 8).

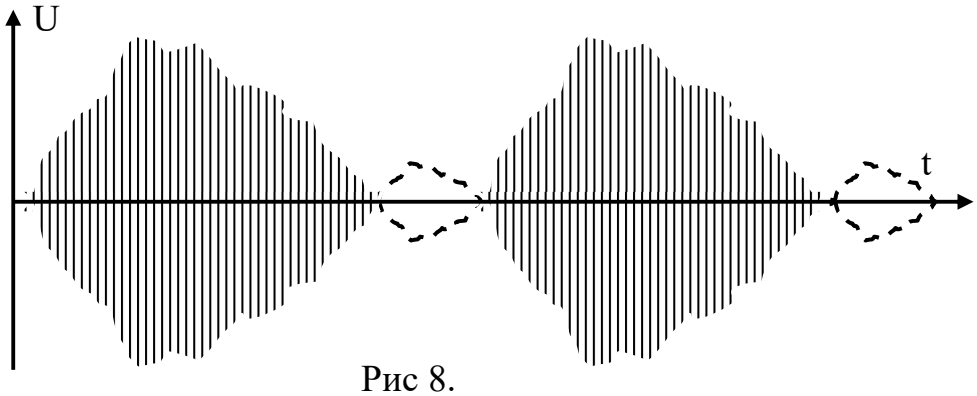


Рис 8.

При модуляции амплитуда несущей частоты остаётся постоянной, а у боковых она меняется.

В современных модулирующих устройствах применяют нелинейные элементы (лампы, транзисторы и т.д.).

В радиовещании амплитудную модуляцию с m, близким к 100%, не применяют.

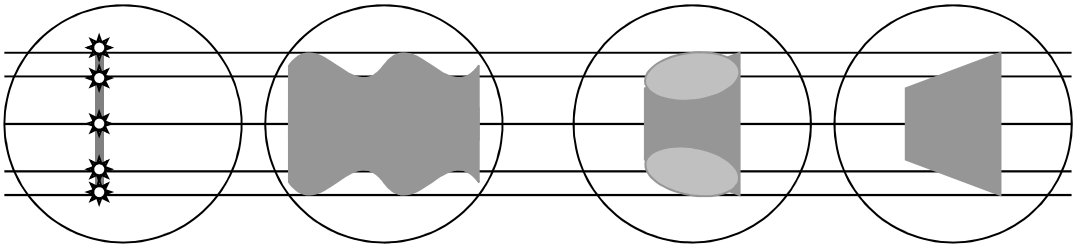
Осциллографические методы измерения глубины модуляции.

Форма осциллограммы определяется переменным напряжением, воздействующим на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. В отсутствии этого напряжения наблюдается вертикальный отрезок линии (рис 9а) с четырьмя светящимися точками, которые соответствуют точкам перегиба огибающей модулированного колебания.

При подаче на горизонтально-отклоняющие пластины пилообразного напряжения от генератора развёртки осциллографа с частотой равной или

кратной частоте модуляции на экране появится кривая модулированного напряжения (рис 9б).

Если выключить генератор пилообразного напряжения и подать на пластины «Х» синусоидальное напряжение с частотой модулирующего сигнала от отдельного звукового генератора, на экране возникает фигура типа 9в или 9г, в зависимости от фазы поданного напряжения.



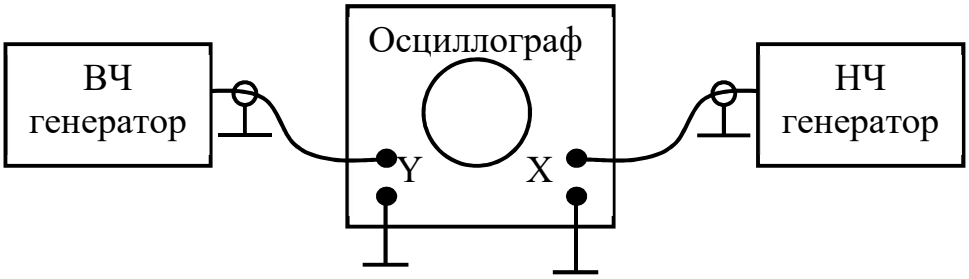
а б в г

Рис 9.

Во всех рассмотренных случаях по изображению на экране можно определить m с точностью около 10%.

Если при подаче синусоидального модулирующего напряжения форма огибающей модулированного сигнала отличается от синусоидальной, значит произошло искажение сигнала. Свойства человеческого зрения не позволяют оценивать качество синусоиды, поэтому заметить искажения гораздо легче, если пользоваться методом, при котором получаются осциллограммы типа изображённых на рис. **в** и **г.**

Порядок выполнения работы.



1. Ознакомьтесь с приборами и с надписями на них, не включая питание и не трогая органов управления.
2. Включите питание и прогрейте приборы 2-3 мин.
3. Ручками «синхронизация» и «частота плавно» добейтесь устойчивого изображения на экране осциллографа.
4. Изменяя коэффициент модуляции высокочастотного генератора ручкой «m%», наблюдайте изменение формы осциллограммы.
5. Зарисуйте осциллограммы для случаев перемодуляции, при малом и большом m и для случая m=100%. По осциллограммам определите коэффициент m, пользуясь формулой (1) и рисунком 7.
6. Для измерения m вторым методом выключите внутренний генератор пилообразного напряжения осциллографа и установите частоту звукового генератора равной частоте модулирующего сигнала, т.е. 400 Гц (проконсультируйтесь у преподавателя).

7. Зарисуйте осциллограммы для тех же случаев и вычислите m.
8. Выключите питание приборов.

Контрольные вопросы.

- Почему при увеличении m дальность радиосвязи увеличивается?
- Почему перемодуляция вредна?
- Можно ли по осциллограммам заметить наличие искажений модулирующего сигнала? Какой способ, первый или второй, для этого удобней?
- Чем отличается верхняя боковая полоса от нижней?
- Есть ли боковые полосы при m=0?

V цикл. Определение принципиальной электрической схемы «чёрного ящика».

<u>Содержание и метод выполнения всех работ этого цикла.</u>

Исследование «чёрного ящика» в простейших случаях можно выполнить путём измерения сопротивления и снятия вольт-амперной характеристики. При этом следует помнить, что схема может содержать полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого зависит от полярности приложенного сопротивления. Если при изменении подключения выводов омметра на противоположное показания прибора изменяются, то в схеме содержится полупроводниковый пробор с p-n переходом. Сопротивление p-n перехода в прямом направлении ($R_п$) обычно бывает порядка 10 Ом, а в обратном направлении десятки или сотни кОм (R_O).

Если диод включен последовательно с резистором, электрическое сопротивление которого $R_n<R<R_O$, то измеренное значение сопротивления будет примерно равно R при одном варианте подключения и много больше при другом варианте.

В случае же, когда диод включен параллельно резистору, электрическое сопротивление схемы будет примерно равно электрическому сопротивлению R резистора при одном способе подключения омметра и близко к нулю при другом.

Если электрическое сопротивление не изменяется при изменении направления тока через схему, значит полупроводникового прибора в схеме нет (этот вывод справедлив для очень простых схем).

Для более точного определения принципиальной схемы «чёрного ящика» можно исследовать зависимость силы тока от напряжения и построить вольт-амперные характеристики.

Если при снятии вольт-амперной характеристики происходит существенное повышение его температуры за счёт нагревания протекающим током, то характеристика может оказаться нелинейной.

Измерения не постоянном токе не позволяют отличить в «чёрном ящике» резистор от катушки, обнаружить конденсатор и определить его ёмкость.

Для того, чтобы отличить резистор от катушки. Можно исследовать зависимость силы тока от частоты приложенного напряжения. Электрическое сопротивление резистора в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц должно оставаться практически неизменным.

Катушка с электрическим сопротивлением R и индуктивностью L может быть представлена как цепь из последовательно включенных резистора с сопротивлением R и идеальной катушки с индуктивностью L.

С увеличением частоты приложенного напряжения индуктивное сопротивление X_L катушки растёт прямо пропорционально частоте:

$$X_L = 2\pi\nu L$$

Так как по закону Ома $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$, ток через катушку с ростом частоты будет плавно уменьшаться.

Для определения индуктивности L катушки можно воспользоваться результатами измерения напряжения U и силы тока I на достаточно большой частоте, при которой активное сопротивление R катушки пренебрежимо мало по сравнению с её индуктивным сопротивлением X_L

$$X_L \approx Z = \frac{U}{I}. \quad \text{и} \quad L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = \frac{U}{I2\pi\nu}.$$

Если электрическое сопротивление между выводами «чёрного ящика» настолько велико, что его значение не удаётся определить с помощью омметра, то можно предположить, что в цепь включен конденсатор. Его наличие можно установить, подключая схему к источнику переменного тока и измеряя силу тока на различных частотах. Так как ёмкостное сопротивление X_C конденсатора обратно пропорционально частоте

$$X_L = \frac{1}{2\pi\nu C};$$

то при постоянной амплитуде переменного напряжения сила тока через конденсатор должна линейно возрастать с увеличением частоты. Если в схеме помимо конденсатора содержится ещё и резистор, то такая зависимость будет несколько иной.

Зависимость силы тока от частоты при последовательном и при параллельном включении резистора и конденсатора различная.

В первом случае сопротивлением резистора при определённой ёмкости конденсатора можно пренебречь на достаточно низкой частоте; на высоких же частотах может стать пренебрежимо малым ёмкостное сопротивление конденсатора.

Во втором случае измерение электрического сопротивления резистора возможно с помощью омметра, а для определения ёмкости конденсатора можно найти значение его ёмкостного сопротивления X_C в области высоких частот, где $X_C \ll R$ и $Z \approx X_C$.

$$X_C \approx \frac{U}{I}, \qquad C = \frac{1}{2\pi\nu X_C} \approx \frac{I}{2\pi\nu U}.$$

Если в «чёрном ящике» находится электрическая цепь из последовательно или параллельно соединённых катушки и конденсатора, можно исследовать зависимость силы тока от частоты при постоянном действующем значении переменного напряжения U. Мы увидим знакомые нам частотные характеристики параллельного и последовательного контуров соответственно.

В качестве простейшего омметра в этом цикле работ используется источник питания (=5 В) и учебный вольтметр на 6 В. Внутреннее

сопротивление $R_П$ источника питания пренебрежимо мало по сравнению с внутренним сопротивлением R_V вольтметра. R_V =6 кОм. Если неизвестное сопротивление R_X, которое необходимо измерить, соизмеримо с R_V , то стрелка вольтметра не отклонится на всю шкалу. При R_V =R_X напряжение источника питания $U_П$ поделится на последовательно соединённых R_V и R_X и стрелка вольтметра покажет половину напряжения источника питания. При других значениях R_X показания вольтметра будут другими. При желании эти значения можно вычислить, зная R_V и $U_П$. можно даже начертить новую шкалу прибора, проградуировав её в единицах сопротивления.

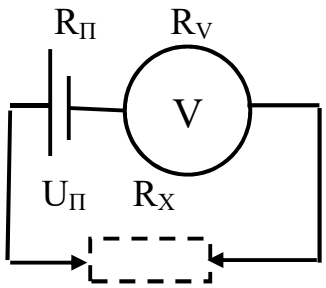


Рис 1.

Для решения наших задач в этом нет необходимости. Нам достаточно определить, проходит ли постоянный ток через «чёрный ящик» в прямом и в обратном направлении.

Приборы такого типа называют *пробниками..*

Для всех работ V цикла **цель** формулируется одинаково – самостоятельно **исследовать электрические параметры неизвестной электрической схемы – «чёрного ящика».**

Лабораторная работа №1-V.

Оборудование: «чёрный ящик №1; вольтметр «учебный» =6 В; миллиамперметр «учебный» ~5 mA; щиток питания +5 В – красное гнездо, минус - ⊥; звуковой генератор ЗГ-10 (положение ручек управления):

«затухание» 10 дБ;

«вых. сопротивление» 5000;

«внутр. нагрузка» - вкл.

напряжение по шкале вольтметра ЗГ-10 20 В.

Лабораторная работа №2-V.

Оборудование: «чёрный ящик» №2; вольтметр «учебный» =6 В; миллиамперметр ~ 50 mA; звуковой генератор ГЗШ; щиток питания + 5 В (красное гнездо) , минус - ⊥.

Лабораторная работа №3-V.

Оборудование: источник постоянного тока И 5; миллиамперметр «учебный» =5mA; «чёрный ящик» №3.

Лабораторная работа №4-V.

Оборудование: «чёрный ящик» №4; миллиамперметр 115-1 ≅ 50 mA; источник постоянного напряжения БП-8-2,5.

Лабораторная работа №5-V.

Оборудование: звуковой генератор ГЗ-34; «чёрный ящик» №5; миллиамперметр ≅ А5 (20 mA); вольтметр =6 В; щиток питания + 5 В (красное гнездо) , минус - ⊥.

Положение ручек ГЗ-34:

«Предел шкал» - 1 В;

«Вых. сопротивление» - АТТ;

«Внутр нагрузка» - Выкл;

«Шкалы прибора» - ×1;

«Рег выхода» - 6 В по верхней шкале.

1 В
3 В
10 В

Лабораторная работа №6-V.

Оборудование: источник постоянного тока БП8-1; миллиамперметр =500 mA; «чёрный ящик» №6.

VI цикл. Оптика.

Лабораторная работа №1-VI.
Определение показателя преломления стекла.

Цель: определить показатель преломления стекла в условиях полного внутреннего отражения.

Оборудование: две стеклянных пластины; лазерная указка; деревянная подставка под пластины с измерительной линейкой; штангенциркуль; экран.

Содержание и метод выполнения работы.

Если направить луч лазера вдоль плоскости верхней грани стеклянной плоскопараллельной пластины, как показано на рис 1, часть лучей достигнет нижней грани за счёт преломления. Угол преломления Θ, согласно закону преломления, связан с показателем преломления n стекла соотношением : $\sin\Theta = \frac{1}{n}$, откуда $n = \frac{1}{\sin\Theta}$ (1).

Чтобы найти угол преломления Θ, нужно измерить толщину стеклянной пластины d и длину «тёмного промежутка» ℓ. Из треугольника АБС: $\sin\Theta = \frac{\ell}{\sqrt{d^2+\ell^2}}$ (2).

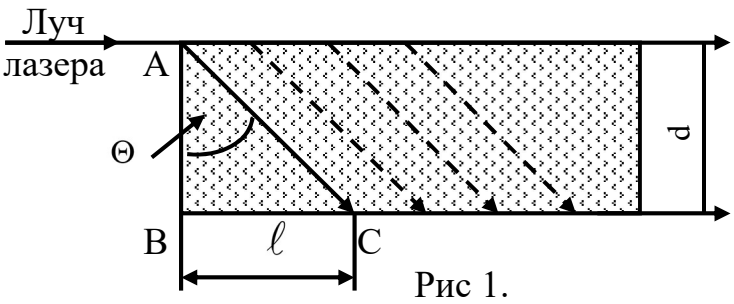


Рис 1.

В реальных условиях рёбра стеклянных пластинок обычно имеют закругления. По этой причине нужно подбирать пластины, имеющие максимально острое верхнее ребро, чтобы уменьшить вероятность появления ошибки при вычислении n.

Порядок выполнения работы.

1. Расположите оборудование на столе так, как показано на рис 2. о

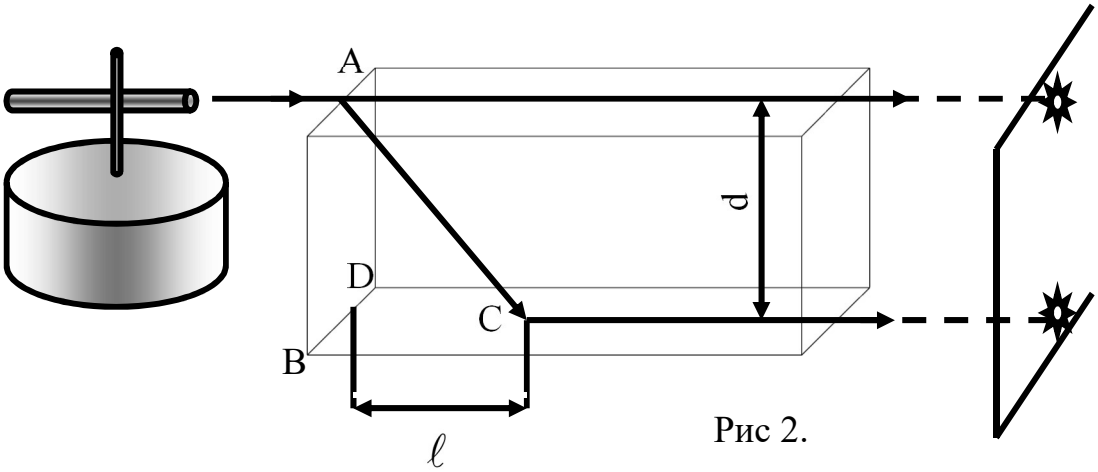


Рис 2.

2. Положите стеклянную пластину на подставку с линейкой, совместив кромку пластины BD с нулевым делением линейки Включите лазер кнопкой на его корпусе и направьте его так, чтобы его луч скользил по поверхности стеклянной пластины. Для этого нужно использовать регулировочные винты штатива. На экране появятся две светящиеся точки – одна напротив верхней грани пластины, другая напротив нижней грани.
3. Измерьте расстояние ℓ при помощи линейки. Измерьте толщину пластины d штангенциркулем.
4. Повторите эксперимент с другой пластиной.
5. Определите показатели преломления n для обеих пластин.

Лабораторная работа №2-VI.
Исследование зависимости силы фототока от освещённости.

Цель: Исследовать зависимость силы фототока фотоэлемента от освещённости. Исследовать зависимость освещённости от угла падения пучка света. Построить графики этих зависимостей.

Оборудование:

- Прибор для изучения законов освещенности;
- Микроамперметр «учебный» =100 μA;
- Источник питания лампы ~6,3 В (жёлтое гнездо щитка питания).
- Провода соединительные.

Содержание и метод выполнения работы.

В этой работе применяется селеновый фотоэлемент (рис 1). Он состоит из железной пластинки (1), покрытой слоем селена (2), на который нанесён тонкий полупрозрачный слой золота (3). От железной пластинки и от плёнки золота (на неё положено контактное кольцо 4) сделаны отводы к зажимам, с помощью которых фотоэлемент включают в электрическую цепь. В результате специальной обработки часть атомов золота проникает в селен, обладающий дырочной проводимостью, и образует в нём слой с электронной проводимостью.

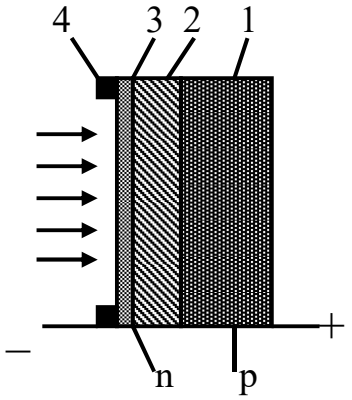


Рис 1.

На границе двух слоёв с различным видом проводимости создаётся электронно-дырочный переход.

При освещении фотоэлемента в селене образуются свободные носители заряда, которые под действием электрического поля электронно-дырочного перехода разделяются: электроны накапливаются в электронном полупроводнике, а дырки – в дырочном. В результате на зажимах фотоэлемента возникает электродвижущая сила.

Если фотоэлемент подключить к гальванометру и осветить, то в цепи возникнет фототок, сила которого зависит от освещённости.

Прибор (рис 2), с которым выполняют данную работу, представляет собой закрытую с торцов пластмассовую трубу. В левой части трубы находится селеновый фотоэлемент, соединённый гибкими проводами с микроамперметром. При помощи рукоятки фотоэлемент можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на 90^0. ось вращения проходит через диаметр активной поверхности фотоэлемента. Угол поворота определяется по шкале угломера на корпусе прибора.

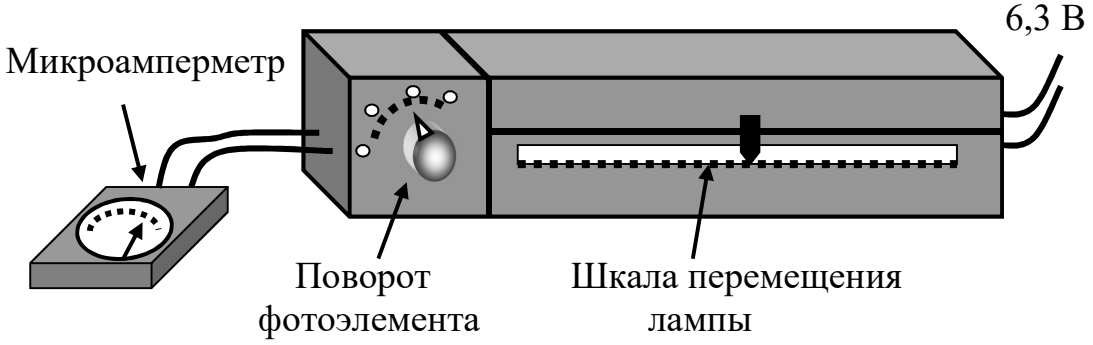


Рис 2.

В нижней части откидной крышки трубы укреплена шкала, по которой можно определять расстояние от лампы до плоскости чувствительного слоя фотоэлемента.

Труба прибора имеет внутри несколько защитных рёбер и чёрную защитную окраску, которые защищают фотоэлемент от световых бликов.

В данной работе нужно исследовать зависимость силы фототока фотоэлемента от освещённости, а также зависимость освещённости от угла падения пучка света на фотоэлемент. Необходимо построить графики этих зависимостей.

Порядок выполнения работы.

1. Подготовьте таблицы для записи результатов измерений и вычислений.
2. Ознакомьтесь с устройством приборов.
3. Расположите фотоэлемент прибора перпендикулярно к оси трубы.
4. Подсоедините к источнику питания (жёлтое гнездо щитка питания и ⊥) электрическую лампу и установите её внутри прибора на минимальном расстоянии от фотоэлемента.
5. Увеличивая расстояние между лампой и фотоэлементом через 2 см, измеряйте силу тока.
6. для каждого случая рассчитайте освещённость E фотоэлемента по формуле $E = \frac{I}{r^2}$, где I – сила света источника (её приближённо примем равной 1 кд);

   r – расстояние между лампой и фотоэлементом, выраженное в метрах.

7. Тщательно установите в трубу линзу и лампочку так, чтобы после линзы получился параллельный пучок света.
8. Постепенно поворачивайте фотоэлемент , устанавливая его по угломеру под разными углами α, каждый раз записывая ток.
   Проверьте «закон косинуса».
   Все результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.
9. Постройте графики. Сделайте выводы.

Таблица 1.

Расстояние между фотоэлементом и лампой r, м	Освещённость фотоэлемента E, лк	Сила фототока I, мкА

Таблица 2.

Угол α, град.	Фототок, мкА	Освещённость E (по формуле $E=E_0\cos\alpha$)

Контрольные вопросы.

- Как устроен селеновый фотоэлемент?
- Как следует изменить расстояние от лампы до фотоэлемента, чтобы фототок увеличился в два раза?
- Зачем внутри прибора сделаны защитные рёбра и почему внутри прибора поверхность чёрного цвета.

Лабораторная работа №3-VI.
Определение фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз.

Цель: определить фокусное расстояние собирающей линзы двумя способами.

Определить главное фокусное расстояние рассеивающей линзы.

Оборудование: рассеивающая линза, собирающая линза, источник света КЛО-120, вставка «стрелка», линейка, матовый экран.

Содержание, метод и порядок выполнения работы.

Задача 1.определение фокусного расстояния собирающей линзы по расстоянию предмета и его изображения от линзы.

1. Получите на матовом экране при помощи линзы действительное изображение какого-либо удалённого предмета. Измерьте

расстояние между линзой и экраном. Это расстояние для тонких линз равно фокусному расстоянию.

2. Вдоль линейки расположите источник света (светящуюся стрелку), линзу и экран. Источник света поставьте на расстоянии от линзы большем 2F. Передвигая экран, получите чёткое изображение стрелки. Начертите ход лучей.
3. Измерьте расстояние d_1 от линзы до стрелки и расстояние f_1 от линзы до изображения стрелки. Результаты измерений в этом и последующих опытах запишите в таблицу 1.
4. Поставьте линзу на расстоянии между F и 2F от светящейся стрелки. Перемещая экран, вновь получите чёткое изображение. Начертите ход лучей. Измерьте в этом случае d_2 и f_2.
5. Изменяя расстояние от линзы до светящейся стрелки, получите чёткое изображение на экране. Измерьте d_3 и f_3.
6. По полученным данным рассчитайте фокусное расстояние линзы по формуле $F = \frac{df}{d+f}$ и сравните с результатом опыта 1.
7. Определите оптическую силу линзы D.

Таблица 1.

№	d, м	f, м	F, м	$F_{СР}$, м	D, дп
1					
2					
3					

Задача 2. Определение фокусного расстояния линзы по величине перемещения линзы.

Если расстояние ℓ от предмета до экрана больше 4F, то всегда найдутся два положения линзы, при которых на экране получатся чёткие изображения предмета M : в положении A увеличенное, а в положении B – уменьшенное.

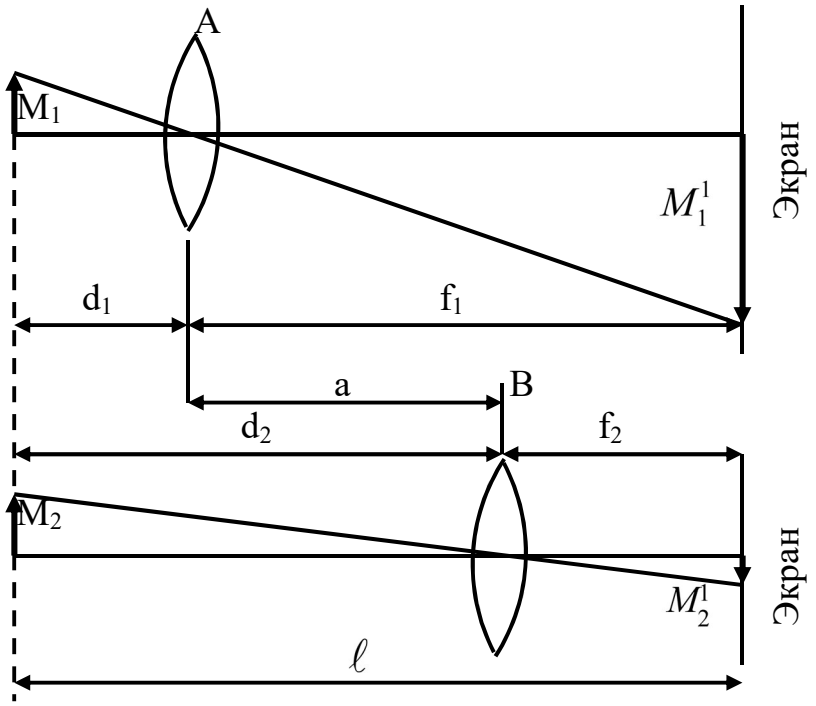


Рис.1.

При этом оба положения линзы симметричны относительно середины расстояния ℓ между предметом и его изображением.

Для этих положений линзы можно записать уравнения:

$\frac{1}{F}=\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1}$; $\frac{1}{F}=\frac{1}{d_2}+\frac{1}{f_2}$, причём $f_1=d_2$, $d_1=f_2$.

Из рис 1 видно, что $\ell=d_1+a+f_2$ (1) , где а – расстояние между положениями А и В линзы.

Подставив в формулу (1) $f_2=d_1$, получим: $\ell=2d_1+a$, откуда

$d_1=\frac{\ell-a}{2}$ (2). Из рис 1 следует, что

$$f_1=\ell-d_1=\ell-\frac{\ell-a}{2}=\frac{\ell+a}{2} \qquad (3).$$

Подставляя в формулу линзы выражения (2) и (3) , получим

$$F=\frac{(\ell-a)(\ell+a)}{4\ell}$$

Таким образом, для вычисления фокусного расстояния F нужно определить расстояние ℓ между предметом и экраном и расстояние a, на которое была перемещена линза из положения А в положение В. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

№	ℓ, м	a, м	d, м	f, м	F, м	$F_{СР}$, м	D, дп
1							
2							
3							

Задача 3. Определение главного фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Если на пути лучей (рис 2), выходящих из точки S и сходящихся в точке В, после преломления в собирающей линзе $Л_1$, поставить рассеивающую линзу $Л_2$ так, чтобы расстояние $Л_2В$ было меньше её фокусного расстояния, то изображение точки S будет находиться в другой , более удалённой от линзы $Л_2$ точке А.

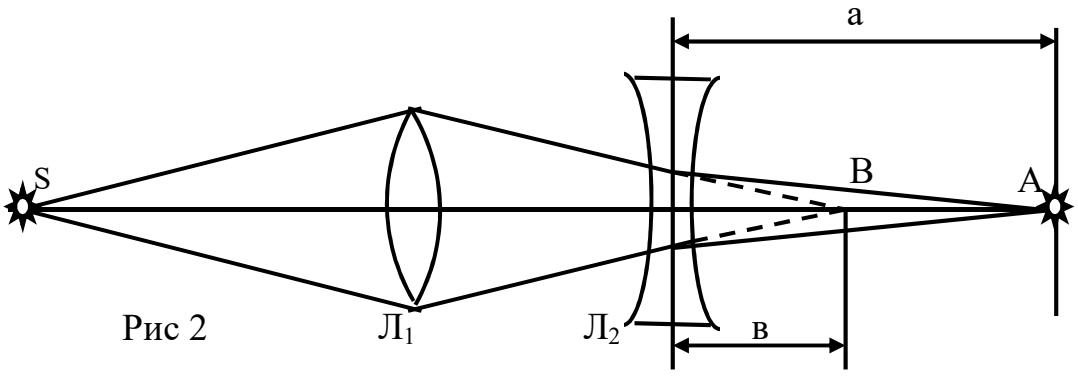


Рис 2

Вследствие обратимости лучей в системах линз можно рассматривать лучи света, как бы распространяющиеся из точки А. Тогда точка В будет мнимым

изображением точки А после преломления лучей в рассеивающей линзе $Л_2$. Обозначая расстояния точек А и В от линзы $Л_2$ соответственно а и в и применяя формулу для рассеивающей линзы, имеем:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \quad ; \qquad F = \frac{ab}{b-a} \ . \qquad (4)$$

Используя рассмотренный случай применим следующий метод определения фокусного расстояния рассеивающей линзы. Между лампочкой и экраном устанавливают собирающую линзу так, чтобы на экране получилось отчётливое изображение, затем между собирающей линзой и экраном устанавливают рассеивающую линзу и записывают расстояние от рассеивающей линзы до экрана. Смещают экран и, не изменяя положения рассеивающей линзы, устанавливают его так, чтобы на нём опять получилось отчётливое изображение. Отмечают расстояние до нового положения экрана.

По полученным данным определяют а и в и по формуле (4) определяют главное фокусное расстояние рассеивающей линзы.

Перемещение экрана производится не менее трёх раз и из полученных значений берется среднее. Прежде чем приступать к нахождению первого положения экрана (точек В), нужно убедиться, получается ли при данном расположении приборов отчётливое изображение с рассеивающей линзой.

Полученные результаты занести в таблицу 3.

№	а, м	в, м	F, м	$F_{СР}$, м	D, дп
1					
2					
3					

Контрольные вопросы.

- Что называется оптической силой линзы? Какова оптическая сила собирающей и рассеивающей линзы?
- Когда собирающая линза даёт мнимое изображение предмета?

Лабораторная работа №4-VI.
Определение спектральных границ чувствительности человеческого глаза.

Цель: используя дифракционную решётку с известным периодом, определите спектральные границы чувствительности вашего глаза.

Оборудование: прибор для определения длины световой волны; дифракционная решётка (период 0,01 мм); лампа накаливания.

Содержание и метод выполнения работы.

Из всех электромагнитных волн (от радиоволн с длинами волн, измеряемыми километрами и кончая гамма-излучением с длиной волны $\lambda<10^{-10}$ м) человеческий глаз способен воспринимать лишь электромагнитные излучения, называемые видимым светом. Границы области видимого можно определить с помощью дифракционной решётки и лампы накаливания. Нить лампы

накаливания, нагретая до высокой температуры, испускает электромагнитные волны с различной длиной волны, спектр излучения сплошной.

Дифракционная решётка представляет собой совокупность большого числа очень узких параллельных щелей, разделённых непрозрачными промежутками. Если на дифракционной решётке имеется 100 штрихов на 1 мм, то период, или постоянная, дифракционной решётки d=0,01 мм.

На рис 1 представлена схема хода лучей через решётку. Лучи, проходящие через решётку перпендикулярно её плоскости, попадают в зрачок наблюдателя и образуют на сетчатке глаза обычное изображение источника света. Лучи, огибающие края щелей решётки, имеют некоторую разность хода, которая зависит от угла α. Если эта разность равна длине волны λ или λk, где k – целое число, то каждая такая пара лучей образует на сетчатке изображение источника, цвет которого определяется соответствующей длиной волны λ.

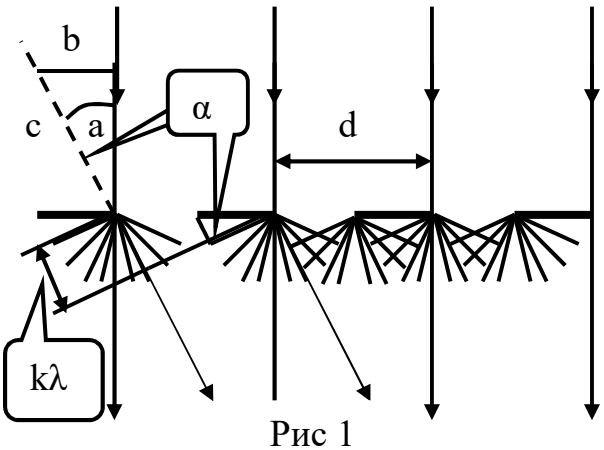


Рис 1

Смотря сквозь решётку на источник света, наблюдатель, кроме этого источника, видит расположенные симметрично по обе стороны от него дифракционные спектры. При таком способе наблюдения спектра роль линзы, собирающей в одну точку параллельный пучок световых лучей, идущих под углом α от дифракционной решётки, выполняет оптическая система глаза человека, а роль экрана, на котором получается спектр, выполняет сетчатка глаза.

Ближайшая пара спектров ($1^{ГО}$ порядка) соответствует разности хода лучей, равной λ для соответствующего цвета. Более удалённая пара спектров ($2^{ГО}$ порядка) соответствует разности хода лучей, равной 2λ, и т. д

Как видно из рис 1, $\lambda = \frac{d \sin\alpha}{k}$,

где d – известный период решётки, а k – порядок спектра.

Значит, чтобы определить длину волны, соответствующей линии определенного цвета, достаточно найти $\sin\alpha = \frac{b}{c}$.

Поскольку углы, под которыми наблюдают границы спектров для решётки с d=0,01 мм, не превышают 4^0, вместо синусов можно использовать значения тангенсов, т.е. $\sin\alpha \approx tg\alpha = \frac{b}{a}$.

Для определения указанного выше отношения служит прибор, изображённый на рисунке 2. Это линейка, разделённая на миллиметры. На одном её конце находится чёрный экран, который можно перемещать вдоль линейки. Посередине экрана имеется прорезь. На другом конце линейки закреплена дифракционная решётка.

Смотря сквозь решётку и прорезь на источник света, наблюдатель увидит на чёрном фоне экрана по обе стороны от прорези дифракционные спектры $1^{го}$, $2^{го}$ и т.д. порядков.

Расстояние а отсчитывают по линейке от решётки до экрана, расстояние в – от прорези до линии спектра определяемой длины волны.

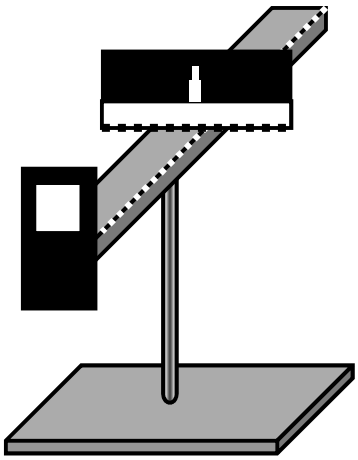


Рис 2.

Порядок выполнения работы.

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.
2. Поместите дифракционную решётку в рамку прибора. Включите лампу и расположите её за экраном со щелью.
3. Смотря сквозь дифракционную решётку, направьте прибор на источник света так, чтобы он был виден сквозь прицельную щель щитка. При этом по обе стороны щитка на чёрном фоне будут заметны дифракционные спектры нескольких порядков.

Порядок спектра	Постоянная решётки	Расстояние от решётки до шкалы	Границы спектра		Длина световой волны	
			К	Ф	К	Ф
$1^{го}$						
$2^{го}$						
$1^{го}$						
$2^{го}$						

4. По шкале щитка, рассматриваемой через решётку, определите красную и фиолетовую границы спектров $1^{го}$ и $2^{го}$ порядков.
5. По делениям линейки определите расстояние от дифракционной решётки до шкалы.
6. Результаты измерений занесите в таблицу.
7. Установите ползунок с экраном на другом расстоянии от решётки и повторите измерения.
8. Определите длину световой волны для красных и фиолетовых лучей по уравнению, приведённому выше.
9. Определите средние значения длины волны для красной и фиолетовой границ спектра.

Контрольные вопросы.

- Что называется периодом решётки?
- Как образуется дифракционный спектр и чем он отличается от дисперсионного?
- Как влияет период дифракционной решётки на расстояние между участками дифракционных спектров?

Лабораторная работа №5-VI.
Кольца Ньютона.

Цель: определить длину световой волны при помощи колец Ньютона.

Оборудование: микроскоп с подсветкой , со светофильтром и с визирной шкалой (цена деления этой шкалы $30 \bullet 10^{-6}$ м); плоская стеклянная пластина; плоско-выпуклая линза (R=198 мм); F=300 мм источник питания (6,3 В) для лампы подсветки.

Содержание и метод выполнения работы.

Рассмотрим систему из плотно сжатых плоского стекла и выпуклой линзы. В опытах Ньютона радиус кривизны выпуклой поверхности линзы был около 10 м. Толщина прослойки воздуха между сжатыми стёклами очень медленно и правильно возрастает от места соприкосновения стёкол (где она равна нулю) к наружным частям линзы.

Если смотреть на такую систему, то тёмное место соприкосновения обоих стёкол оказывается окружённым светлой кольцевой полосой, которая постепенно переходит в тёмную, вновь сменяется светлой и т.д. По мере увеличения диаметра кольца изменение толщины воздушной прослойки возрастает, и ширина кольцевых полос, т.е. расстояние между двумя соседними минимумами, становится меньше. Таково картина, наблюдаемая в однородном свете (при применении светофильтра). В белом свете наблюдается система цветных колец, постепенно переходящих друг в друга. По мере удаления от центрального тёмного пятна цветные полосы становятся всё уже и белесоватее благодаря перекрытию цветов, пока, наконец, не исчезают всякие следы интерференционной картины.

Нетрудно понять, почему интерференционная картина имеет в данном случае вид системы концентрических колец. Места равной толщины воздушной прослойки, которые соответствуют местам с одинаковой разностью хода световых волн, имеют форму окружностей. По этим окружностям и располагаются места равной интенсивности в интерференционной картине.

Удобное расположение приборов, позволяющее наблюдать и промерять кольца Ньютона, изображено на рис 1.

На столике микроскопа с небольшим увеличением расположено плоское стекло, сложенное с линзой малой кривизны. Наблюдение ведётся через микроскоп в направлении, перпендикулярном к плоскости стекла. Для того, чтобы освещающий свет падал тоже перпендикулярно к плоскости стекла, заставляют свет от источника L отражаться от стеклянной пластины M , поставленной под углом 45^0 к оси микроскопа. Таким образом, интерференционная картина рассматривается сквозь эту стеклянную пластину. Практически она не мешает наблюдать кольца, ибо сквозь неё проходит вполне достаточно света. Источником света служит лампочка накаливания и цветной светофильтр.

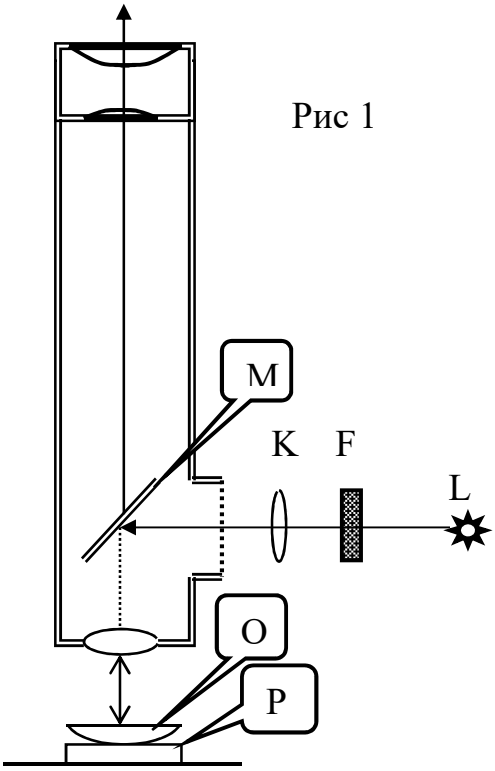
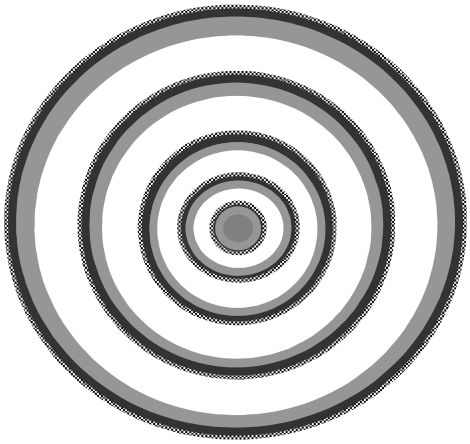


Рис 1

L – источник света; K – вспомогательный конденсор; F – светофильтр; M – стеклянная пластина, отражающая свет; O – длиннофокусная линза; P – плоская стеклянная пластина.



Кольца Ньютона в отражённом свете.

Рис 2.

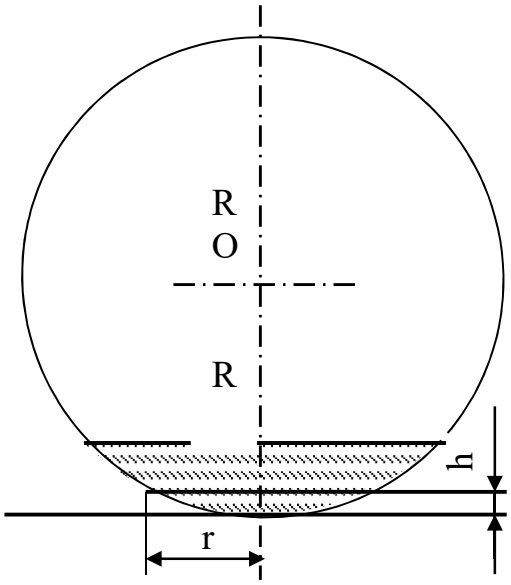


Рис 3. К расчёту радиусов колец Ньютона.

Для того, чтобы использовать интерференционные явления, в частности, кольца Ньютона для измерения длины волны, надо несколько подробнее рассмотреть условия образования максимумов и минимумов освещённости.

При падении света на плёнку или тонкую пластинку часть света проходит через неё, а часть отражается. Предположим, что одноцветный (монохроматический) свет длины волны λ падает на пластинку перпендикулярно к её поверхности. На рис 4 изображён ход лучей в пластинке, причём для ясности лучи изображены не вполне перпендикулярными к ней. В *отражённом* свете

имеем луч 1, отражённый от верхней поверхности пластинки, луч 2, отражённый от нижней поверхности. В *проходящем* – луч 1`, прямо прошедший через пластинку, луч 2`, отразившийся по одному разу от нижней и от верхней поверхностей.

Рассмотрим сначала проходящие лучи. Лучи 1` и 2` обладают разностью хода, т.к. первый прошёл через нашу пленку один раз, а второй – три раза. Образовавшаяся *разность хода* есть AB+BC+CD-AB=BC+CD=2h, где h – толщина пластинки (на чертеже для ясности лучи изображены не вполне перпендикулярными к пластинке). Если это разность хода равна целому числу волн, то есть чётному числу полуволн, то лучи усиливают друг друга; если же разность хода равна нечётному числу полуволн, то лучи взаимно ослабляются. Итак, максимумы и минимумы получаются в тех местах пластинки, толщина которых h удовлетворяет условию:

$$2h = n\frac{\lambda}{2},$$

причём *минимумы* соответствуют *нечётному* значению n=1,3,5,…, а *максимумы* соответствуют чётному значению n=2,4,… Таковы выводы для проходящего света.

В *отражённом* свете разность хода разность хода между лучами 1 и 2 есть AB+BC=2h, т.е. такая же, как и для проходящего света. Можно было бы думать, что и в отражённом свете минимумы и максимумы будут на тех же местах пластинки, что и в проходящем свете. Однако это означало бы, что места пластинки, которые меньше всего отражают света, меньше всего и пропускают его. В частности, если бы пластинка имела одну и ту же толщину и притом такую, что 2h равно нечётному числу полуволн, то такая пластинка давала бы и минимальное отражение и минимальное пропускание. Но так как мы предполагаем, что пластинка не поглощает света, то одновременное уменьшение и отражённого и пропущенного света невозможно. Само собой разумеется, что в непоглощающей пластинке свет отражённый должен дополнять свет прошедший, так что темные места в проходящем свете соответствуют светлым в отражённом, и наоборот. И действительно, опыт подтверждает это заключение.

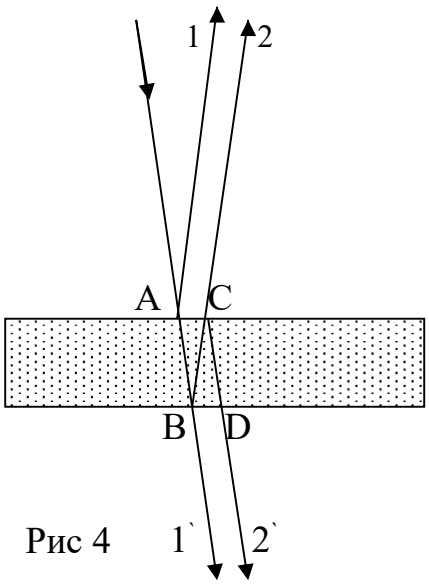


Рис 4

В чём же ошибочность нашего расчёта интерференции отражённых лучей? Дело в том, что мы не учли различия в условиях отражения. Некоторые из отражений имеют место на границах воздух – стекло. Это различие приводит к возникновению дополнительной разности фаз, которая соответствует дополнительной разности хода, равной λ/2. Поэтому полная разность хода для лучей, отражённых от верхней и нижней поверхностей пластинки толщиной h, равняется 2h+λ/2. Места минимумов соответствуют условию $2h + \frac{\lambda}{2} = m\frac{\lambda}{2}$,

где m – нечётное число, а места максимумов – чётным значениям m. Следовательно, максимумы и минимумы получаются в тех местах пластинки, толщины которых h

$$2h = (m-1)\frac{\lambda}{2} = n\frac{\lambda}{2},$$

причём (m-1) обозначено через n. Минимумы соответствуют чётным значениям n=0,2,4…, соответственно максимумы соответствуют нечётным значениям n=1,3,5… .

Сопоставим результаты, полученные для определения положения максимумов и минимумов в проходящем и отражённом свете. Положения максимумов и минимумов соответствуют толщине плёнки, определяемой из условия: $2h = n\frac{\lambda}{2}$, причём:

	В проходящем свете	В отражённом свете
При n чётном ……	максимум	минимум
При n нечётном ……	минимум	максимум

Таким образом, области максимумов в проходящем свете соответствуют областям минимумов в отражённом и наоборот – в согласии с опытом и с высказанными выше соображениями.

Применительно к кольцам Ньютона, которые обычно наблюдаются в отражённом свете, получаем, что места максимумов соответствуют нечётным значениям n=1,3,5,…, а места минимумов – чётным n=0,2,4,… Центральный (нулевой n=0) минимум имеет вид тёмного кружка, следующее первое тёмное кольцо соответствует n=2, второе n=4 и т.д. Вообще номер (№) тёмного кольца связан с числом n соотношением N=n/2. Для светлых колец найдём, что номер его № выражается формулой №=(n+1)/2.

Вместо определения толщины h того места воздушной прослойки, которое соответствует кольцу номера №, удобнее измерять диаметр или радиус соответствующего кольца. Как следует из рис.3, толщина прослойки h связана с радиусом кольца соотношением $(2R-h)h^2=r^2$. Для опытов с кольцами Ньютона пользуются линзами с очень большим R (до нескольких метров). Поэтому можно пренебречь величиной h по сравнению с 2R и упростить последнее соотношение, записав

$$2Rh=r^2, \quad \text{или} \quad 2h=r^2/R.$$

Итак, для определения длины волны λ с помощью колец Ньютона имеем: $2h = \frac{r^2}{R} = n\frac{\lambda}{2}$.

Если измеряются радиусы тёмных колец, то номер кольца N=n/2. В таком случае длина волны выразится формулой $\lambda = \frac{r_N^2}{NR}$, где r_N есть радиус N-го тёмного кольца.

При измерениях светлых колец мы должны иметь в виду, что N=(n+1)/2. В соответствии с этим получаем соотношение $\lambda = \frac{2r_N^2}{(2N-1)R}$, где r_N есть радиус N-го светлого кольца.

Порядок выполнения работы.

- Включите источник света (гнёздо ⊥ и жёлтое гнездо ~6,3 В).
- Опустите объектив микроскопа вниз до упора, затем начинайте плавно поднимать его. В поле зрения появится бледный зеленоватый круг. Если осторожно поднять объектив ещё немного, то вы увидите кольца Ньютона. Если они окажутся не в центре поля зрения, то вращением регулировочных винтов В (рис 5) на подвижном предметном столике переместите изображение колец точно на пересечение визирных линий микроскопа.
- После выполнения необходимых измерений вычислите длину волны света, прошедшего через светофильтр. Сравните полученный результат с табличными данными, приведёнными в приложениях.

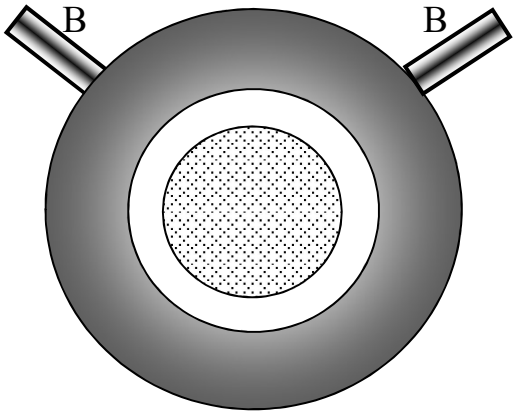


Рис 5.

Лабораторная работа №6.
Качественный спектральный анализ.

Цель: Отградуировать спектроскоп по спектру ртути. По градуировочной кривой найдите длины волн спектральных линий газа в других трубках и определите, каким химическим элементам принадлежат эти спектры.

Оборудование: школьный спектроскоп двухтрубный; набор спектральных трубок; источник питания +7÷9 В.

Содержание и метод выполнения работы.

Все атомы одного химического элемента обладают одинаковым зарядом атомного ядра, их электронные оболочки имеют одинаковое строение и обладают одинаковым набором возможных энергетических состояний. Поэтому набор частот испускаемых квантов или длин волн излучаемого света у всех атомов одного элемента одинаков.

У каждого химического элемента свой заряд атомного ядра и своё особое строение электронной оболочки. Возбуждённые атомы каждого химического элемента испускают такие световые кванты, каких не испускают атомы ни одного другого химического элемента.

Состав излучения по длинам волн можно узнать, пропустив узкий пучок света через стеклянную призму. Получающийся при разложении линейчатый спектр служит точным «паспортом», по которому можно узнать химический элемент.

Работу выполняют с помощью спектроскопа, изображённого на рис 1, где 1 – окуляр; 2 – зрительная труба; 3 – объективы; 4 – коллиматор; 5 – щель; 6 – микрометрический винт.

Расходящийся световой пучок, идущий от источника света,

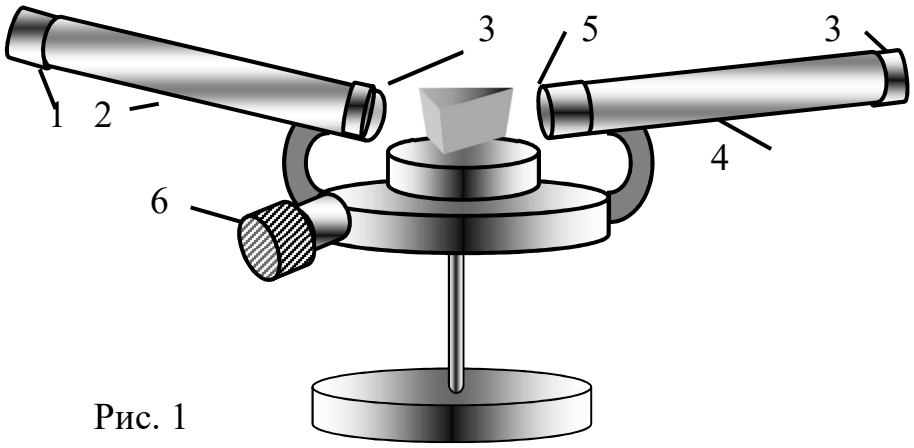


Рис. 1

расположенного вблизи щели коллиматора, проходит через щель, находящуюся в главном фокусе линзы, и после линзы параллельным пучком падает на грань стеклянной призмы.

В призме этот пучок отклоняется к её основанию и разлагается на

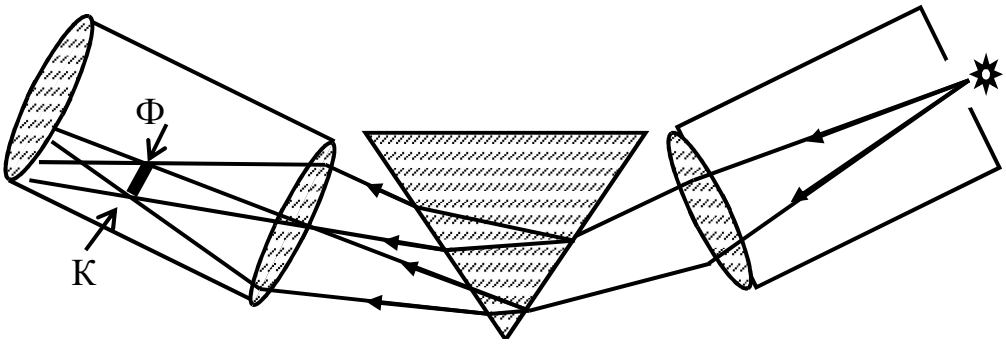


Рис.2

составные цветные пучки, так как разным частотам соответствуют различные показатели преломления. По выходе из призмы эти пучки ещё раз отклоняются к основанию призмы и направляются в объектив зрительной трубы.

Пройдя объектив, каждый пучок одноцветных лучей образует в фокальной плоскости объектива действительное цветное изображение щели коллиматора. Из множества таких изображений получается спектр, красная область которого обращена к вершине призмы, а фиолетовая – в сторону основания.

Для фиксации зрительной трубы на определённой линии спектра служит тонкая вертикальная нить (визир), натянутая внутри трубы в той же плоскости, в которой образуется спектр.

При рассмотрении действительного изображения спектра (и визира) через окуляр, как через лупу, видна только часть спектра. Для рассматривания отдельных участков спектра зрительную трубу надо поворачивать. Для этого служит микрометрический винт, устроенный подобно микрометру.

Чтобы определять по расположению линий в спектре наличие в источнике излучения тех или иных химических элементов, спектроскоп необходимо проградуировать.

Градуировку производят, наблюдая уже известный спектр какого-либо светящегося газа. Длину волны, соответствующую каждой из наблюдаемых линий, берут из справочной таблицы (смотри приложение). Затем совмещают визир с каждой из спектральных линий, снимают показания отсчётного приспособления и строят градуировочную кривую. Для этого по вертикальной оси откладывают известные длины волн, а по горизонтальной – соответствующие им показания микрометра, снятые во время опыта.

После градуировки, наблюдая линейчатый спектр неизвестного вещества и нанеся на ту же кривую показания микрометра, можно для каждой спектральной линии по градуировочной кривой определить длину волны, а затем по справочной таблице узнать, спектру какого элемента принадлежат эти линии.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с устройством спектроскопа и прибора для зажигания спектральных трубок. В прибор для зажигания спектральных трубок вставьте трубку, заполненную парами ртути. Включите прибор и установите рядом с ним спектроскоп. Добейтесь получения чёткого изображения спектральных линий в окуляре зрительной трубы.
2. Выполните измерения положений линий спектра ртути и выключите прибор для зажигания. Используя сведения о длинах волн спектра ртути, приведённые в таблице , составьте таблицу для построения градуировочной кривой.

Спектр ртути			Спектр неизвестного элемента		
Отсчёт по шкале спектро-скопа, мм.	Длина волны, нм.	Цвет линии.	Отсчёт по шкале спектро-скопа, мм	Длина волны, нм.	Цвет линии.
	579 546 492 436 408	Жёлтый Зелёный Синий Фиолетовый Фиолетовый			

3. Так как шкала на головке микрометрического винта разделена на 50 равных частей, а один оборот винта вызывает его перемещение на 1 мм, то одно деление на шкале соответствует 0,02 мм. Поэтому цифры на головке винта для выражения в сотых долях миллиметра следует умножить на 0,02. Например, если левый край головки винта находится между второй и третьей рисками на шкале и горизонтальная риска шкалы находится против деления «43» на головке винта, то в отчётную таблицу следует записать отсчёт: 2 мм+0,43·2 мм=2,86 мм.
4. Проградуировав спектроскоп, можно приступить к определению химического состава неизвестного вещества. Заменив трубку с парами ртути трубкой с неизвестным газом, исследуйте спектр в том же порядке, который приведён выше.
5. Результаты измерений длин волн спектральных линий исследуемых веществ занесите в таблицу. Определите химический состав веществ по их спектрам.

Контрольные вопросы.

- Почему отверстие на конце трубы каллиматора имеет форму узкой щели с параллельными сторонами? Изменится ли вид наблюдаемого спектра, если это отверстие сделать в виде треугольника?
- Объясните происхождение линейчатого спектра излучения.
- Почему каждый химический элемент обладает особым линейчатым спектром излучения?

Лабораторная работа №7 – VI.
Дифракционная решётка как спектральный прибор.

Цель: 1.Определить длину световой волны лазера.
2. Определить период дифракционной решётки №2.

Оборудование: лазерная указка на штативе; дифракционная решётка №1 с расстоянием между штрихами 0,01 мм; дифракционная решётка №2 с неизвестным шагом; линейка демонстрационная; линейка ученическая; экран.

Содержание и метод выполнения работы.

Положение максимумов и минимумов, составляющих дифракционную картину зависит от длины световой волны λ. Поэтому при наблюдении в сложном свете, например, в белом, где представлены различные длины волн, дифракционные максимумы для *различных цветов* окажутся на *разных местах,,*т.е. при явлении дифракции происходит *разложение сложного света.* Наиболее интересный случай дифракции, где такое разложение играет важную роль, осуществляется с помощью дифракционных решёток.

Результат интерференции можно рассчитать, пользуясь рис. 1, где изображены несколько рядом расположенных участков решётки. Предположим, что на решётку падает монохроматический свет с длиной волны λ.

Пусть фронт падающей волны совпадает с плоскостью решётки, т.е. свет падает перпендикулярно к решётке; фронт отклонившейся волны есть плоскость DF, перпендикулярная к направлению дифрагировавших лучй. Разности хода лучей, идущих от соответствующих точек отверстий (например, A, A_1,A_2,A_3…) имеют, конечно, одно и то же значение. Эти разности равны:

$$A_1M_1=AA_1\sin\varphi=d\sin\varphi,$$

$$A_2M_2=A_2N_2-A_1M_1=2d\sin\varphi-d\sin\varphi=d\sin\varphi \quad \text{и т.д.},$$

Где d есть период решётки. Для того, чтобы *все пучки* усиливали друг друга, необходимо, чтобы $d\sin\varphi$ равнялось <u>целому</u> числу волн, т.е.

$$D\sin\varphi=n\lambda, \qquad (*)$$ где n – целое число.

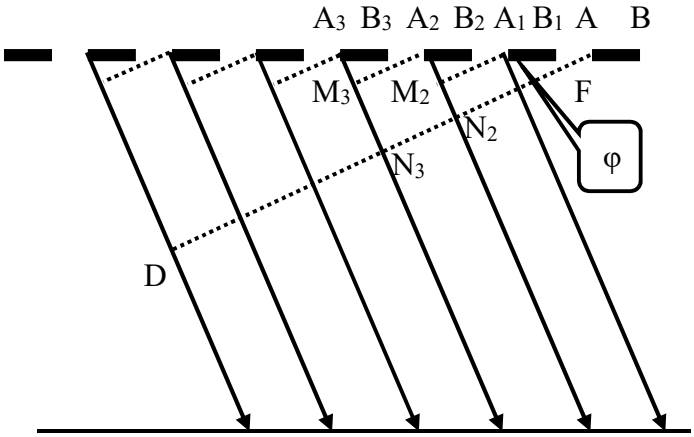


Рис 1

Из формулы (*) следует, что для данной длины волны λ может наблюдаться несколько максимумов. Направление, соответствующее n=0, есть φ=0; это направление первоначального пучка. Соответствующий максимум носит название максимума нулевого порядка. На рис.2 ему соответствует точка S_0. При n_1 имеем:$\sin\varphi_1=\lambda/d$, при n= - 1, $\sin\varphi'_1= -\lambda/d$, т.е. имеются два максимума первого порядка, расположенные симметрично по обеим сторонам нулевого максимума (точки S_1 S'_1).

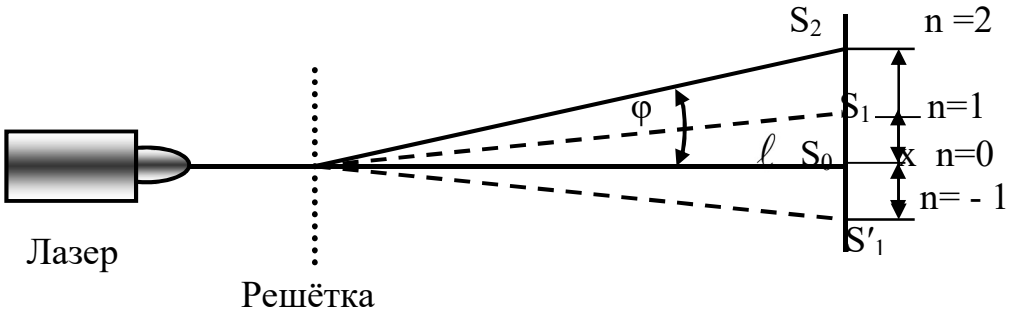


Рис 2.

При n±2 $\sin\varphi_2=2\lambda/d$ и $\sin\varphi'_2= - 2\lambda/d$, т.е. имеем два симметричных максимума второго порядка.

Отсюда непосредственно следует, что для волн разной длины λ положения максимумов нулевого порядка совпадают, а положения максимумов первого, второго и т.д. порядков различны: чем больше λ, тем больше соответствующие φ. Таким образом, более длинные волны дают изображения щели, дальше расположенные от нулевого максимума.

Уменьшение периода решётки увеличивает угловое расстояние между максимумами различных длин волн.

Так как длина волны красного цвета около 7000 А, а фиолетового около 4000 А, то красный конец спектра второго порядка накладывается на спектр третьего порядка. Ещё сильнее перекрываются спектры высших порядков (см рис 3).

Зная период дифракционной решётки, её можно использовать для определения длины световой волны, измерив величину угла φ, определяющего положение максимума данного порядка. В таком случае из соотношения $d\sin\varphi=n\lambda$ найдём:

$$\lambda = \frac{d\sin\varphi}{n}.$$

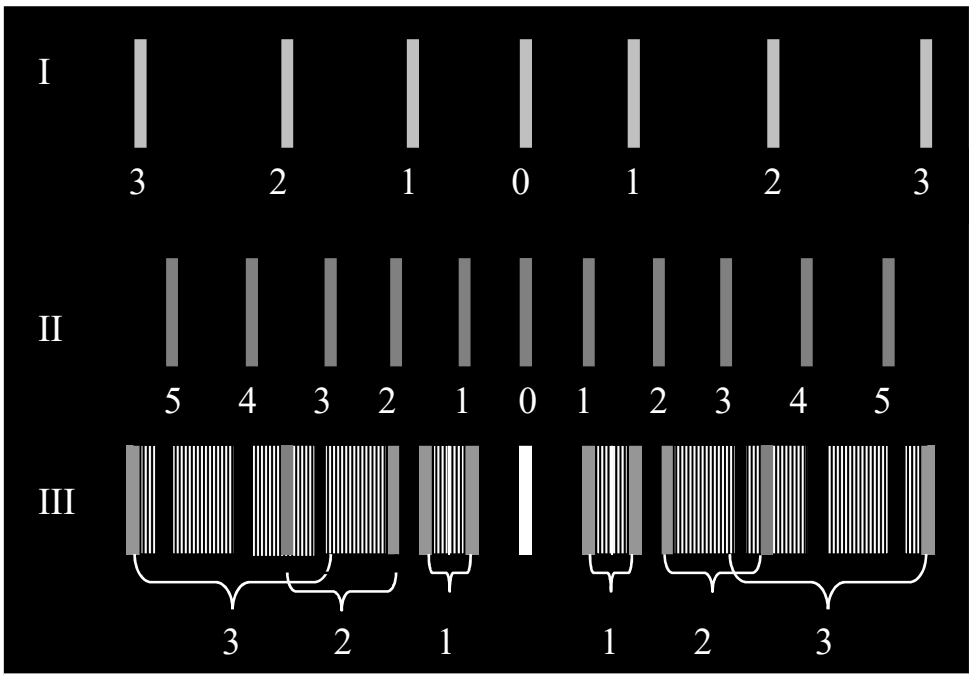


Рис 3. Дифракционный спектр (схема).
I – расположение линий красного конца спектра;
II – фиолетового конца;
III – длинноволновый (красный) конец спектра второго порядка перекрывается с коротковолновым (фиолетовым) концом спектра третьего порядка и т. д.

Измерение длины световой волны при помощи дифракционных решёток принадлежит к числу наиболее точных.

Порядок выполнения работы.

1. Установите решётку на подставке перпендикулярно лучу лазера. Включив лазер кнопкой на его корпусе, пропустите луч лазера через решётку №1. на экране появится изображение ряда светящихся точек.
2. Измерив ℓ и x для максимумов 1го, 2го и 3го порядков, вычислите углы отклонения луча φ и рассчитайте длину световой волны лазера.
3. Проведите эксперимент с решёткой №2. определите расстояние между штрихами этой решётки.
4. Оцените границы погрешностей измерений.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
6. Сравните полученные результаты λ с данными из справочной таблицы.

Цвет луча лазера	ℓ, м	X, м	sinφ	λ, нм	ε_λ

Лабораторная работа №8-VI.
Цилиндрическая линза и ее свойства

Цель работы: практическое изучение фокусирующих свойств линзы и эффектов аберрации.

Оборудование.

1. Источник света с щелевой насадкой.
2. Подвижная платформа.
3. Лист бумаги – экранная плоскость.
4. Две плосковыпуклые линзы – стеклянные полуцилиндры.
5. Линейка.

Содержание и метод выполнения работы.

Круглые и цилиндрические прозрачные предметы обладают способностью увеличивать изображение и фокусировать параллельные световые пучки. Увеличительная способность стеклянной чечевицы была известна арабскому физику Альгазену (~ 1038 г.) и английскому естествоиспытателю и философу Роджеру Бэкону (1214 –1294гг). Ученик Галлилея - Бонавентура Кавальери впервые разработал математическую модель определения фокусного расстояния двояковыпуклой линзы для параллельных лучей света (1647 г.). В современном варианте формула для фокусного расстояния **f** двояковыпуклой линзы выглядит так:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (1)$$

здесь n- показатель преломления материала линзы, $r_{1,2}$ – радиусы кривизны поверхностей линзы. Формула (1) справедлива для достаточно узких пучков световых лучей, параллельных оптической оси. Для широкого пучка имеет место ***аберрация*** – точка фокуса «размывается». Определение «достаточно узкий» не является строгим, однако в лабораторной работе у вас будет возможность самим уточнить данное определение на практике. В случае плосковыпуклой линзы ($r_2 = \infty$) из (1) следует:

$$f = \frac{r_1}{n-1} \qquad (2)$$

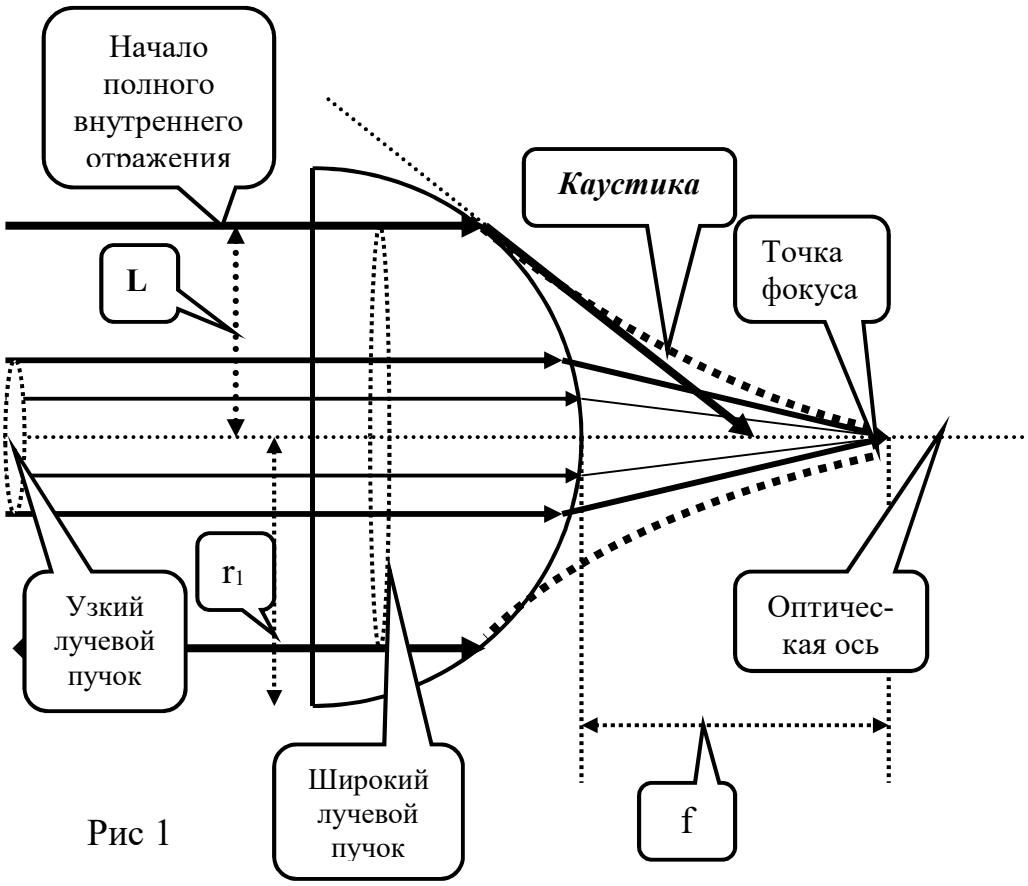


Рис 1

Для случая плосковыпуклой линзы картину преломления лучей, параллельных оптической оси, можно представить в виде следующего рисунка (рис 1).

На рисунке, приведенном выше, изображены : а) случай падения на плосковыпуклую линзу ***узкого лучевого пучка***, а также б)предельный случай выхода падающего луча из линзы, соответствующий ***началу полного внутреннего отражения*** **.** Для ***широкого лучевого пучка***, падающего на линзу (когда полуширина пучка порядка **L –** см. рисунок), граница раздела света и тени после преломления образует ***каустику*** **–** огибающую семейства лучей (жирная пунктирная линия на рисунке)**.** Для начала полного внутреннего отражения имеет место соотношение:

$$L = \frac{r_1}{n} \qquad (3) \qquad \text{(выведите самостоятельно).}$$

План работы:

1. Установление аберрационных границ.
2. Определение фокусного расстояния линзы.
3. Определение показателя преломления материала линзы.
4. Построение границы раздела «свет – тень» - каустики.

Порядок выполнения работы.

1. Приготовьте лист бумаги и закрепите его на горизонтальном столике кнопками. На этот лист положите одну из линз, отступив от края на 10 мм, и обведите её. Измерьте величину $\mathbf{r_1}$ для этой линзы. Начертите для обведенной линзы оптическую ось и нанесите на контур линзы деления, как показано на рис 2. Расстояние между делениями пусть будет 2 мм. От тщательности выполнения рисунка зависит качество выполнения всей работы.

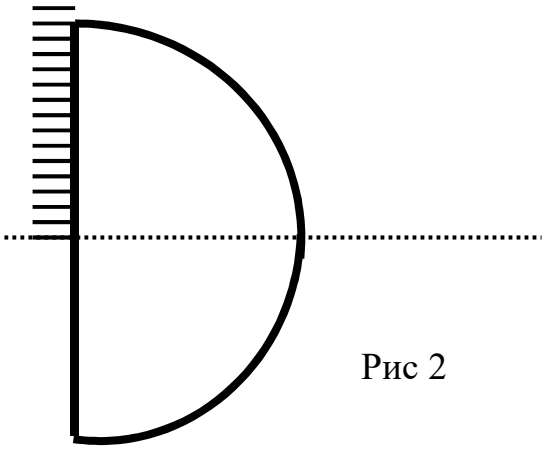


Рис 2

2. Положите линзу на размеченный лист бумаги, вставьте щелевую насадку в источник света и включите лампу источника. Перемещая источник света по подвижной платформе перпендикулярно оптической оси, постройте семейство лучей, прошедших через линзу. Постарайтесь при этом устанавливать источник света так, чтобы падающий на линзу луч проходил через каждое деление установленной шкалы.

По построенной лучевой картине самостоятельно установите ***аберрационные границы линзы*** , соответствующие ширине светового потока, для которого имеет место четкая фокусировка. Определите фокусное расстояние **f** . Опишите, как вы это делали практически.

3. Перемещая платформу с источником света, добейтесь ситуации ***начала полного внутреннего отражения*** (см. рис.1). Опишите, что при этом должно наблюдаться на листе – экране. Измерьте для этой ситуации полуширину светового потока **L** .

4. На основании измерений вычислите величину показателя преломления **n** двумя способами:

4.1 Используя формулу (2).

4.2 Используя формулу (3).

Укажите допущения, используемые вами при данных вычислениях. Сравните полученные результаты.

5. Используя построенную вами картину световых лучей, прошедших через линзу, постройте границу «свет – тень» - ***каустику*** (см.рис.1).

6. Уберите щелевую насадку с источника света и поставьте между исследуемой линзой и источником света дополнительную линзу так, чтобы она формировала параллельный пучок (рис.3)

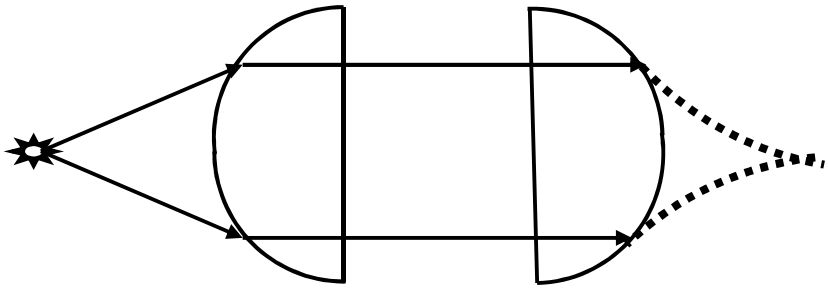


Рис 3.

Сравните наблюдаемую вами границу «свет – тень» (жирная пунктирная линия на рис.3) с формой каустики, построенной по заданию (п.5). Сделайте выводы.

Вопросы.

1. Какова траектория лучей в данном эксперименте, соответствующая ситуации полного внутреннего отражения?
2. Можно ли из двух данных линз построить телескоп?

Приложения.

Наиболее интенсивные линии спектров элементов, расположенные по длинам волн.

Таблица 1.

Цвет спектральной линии	Длина волны, нм	Элемент	Цвет спектральной линии	Длина волны, нм	Элемент
Красный	766	Калий		486	Водород
	696	Аргон		483	Стронций
	686	Фтор		482	Хлор
	671	Литий		481	Цинк
	668	Гелий	Синий	480	Хлор
	661	Азот		479	Бром
	656	Водород		473	Селен
	644	Кальций		472	Висмут
	644	Кадмий		472	Цинк
	643	Таллий		471	Гелий
	640	Неон		469	Цирконий
	636	Цинк		469	Сера
	624	Алюминий		467	Ксенон
Оранжевый	610	Литий		463	Азот
	594	Азот		461	Стронций
	589	Натрий		460	Литий
	588	Гелий		456	Цезий
	587	Криптон		455	Барий
	585	Неон		452	Олово
Жёлтый	580	Калий		451	Индий
	578	Барий		447	Гелий
	568	Азот	Фиолетовый	441	Кислород
	561	Свинец		438	Ванадий
Зелёный	557	Криптон		436	Ртуть
	554	Барий		430	Вольфрам
	546	Йод		428	Хром
	546	Ртуть		427	Углерод
	540	Неон		424	Уран
	535	Таллий		423	Кальций
	522	Медь		423	Германий
	521	Серебро		422	Рубидий
	521	Хром		422	Стронций
	518	Магний		419	Кислород
Голубой	500	Азот		406	Свинец
	498	Титан		404	Калий
	493	Барий		403	Гелий

Таблица 2.
Длины волн спектральных линий, наиболее характерных для некоторых элементов в видимой части спектра.

Элемент	Длина волны нм	Цвет линий
Азот	648	Красный
	594	Оранжевый
	568	Жёлтый
	500	Зелёный
	480	Голубой
	483	Синий
	445	Фиолетовый
Аргон	696	Красный
Водород	656	Красный
	486	Голубой
	434	Фиолетовый
	410	Фиолетовый
Гелий	668	Красный
	588	Оранж.
	502	Голубой
	492	Голубой
	471	Синий
	447	Фиолетовый
Калий	694	Красный
	691	Красный
	580	Жёлтый
	536	Зелёный
	404	Фиолетовый
Кальций	644	Красный
	612	Оранжевый
	559	Зелёный
	445	Фиолетовый
	423	Фиолетовый
Кислород	470	Синий
	441	Фиолетовый
	419	Фиолетовый

Элемент	Длина волны, нм	Цвет линий
Криптон	467	Синий
	462	Синий
	460	Фиолет.
Натрий	616	Оранж.
	590	Оранж.
	589	Оранж.
	569	Жёлтый
	515	Зелёный
	498	Голубой
	467	Синий
Неон	640	Красный
	614	Оранж.
	594	Оранж.
	585	Жёлтый
	540	Зелёный
	538	Зелёный
	503	Гоубой
	485	Голубой
Ртуть	579	Жёлтый
	546	Зелёный
	492	Синий
	436	Фиолет.
	408	Фиолет.
Стронций	641	Красный
	639	Красный
	496	Голубой
	483	Голубой
	461	Синий
	422	Фиолет.
Хлор	482	Голубой
	480	Синий
		.

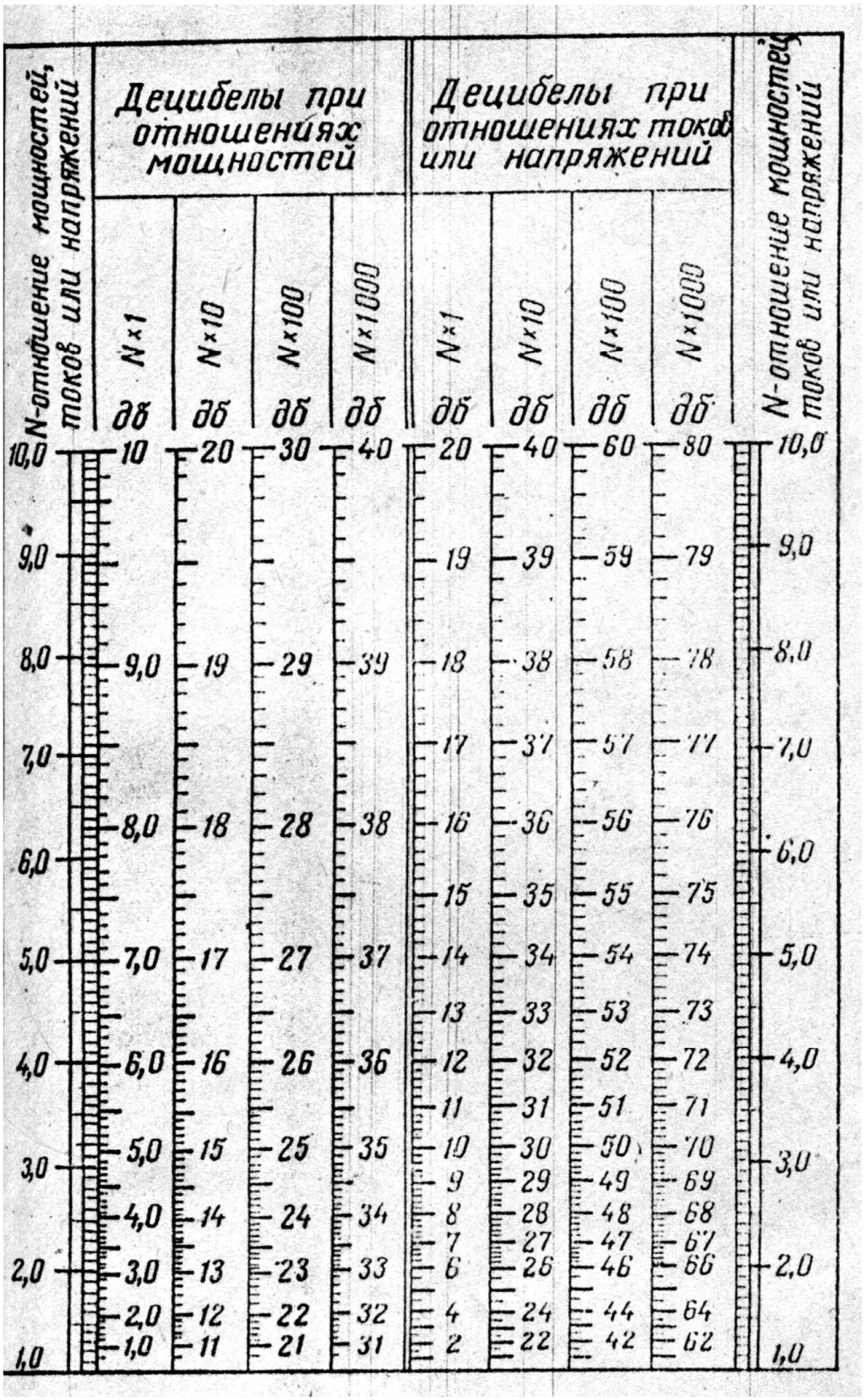



Таблица децибел (таблица 3).