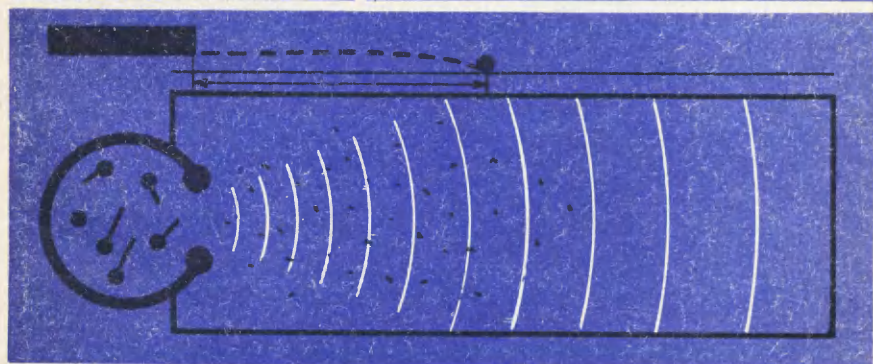
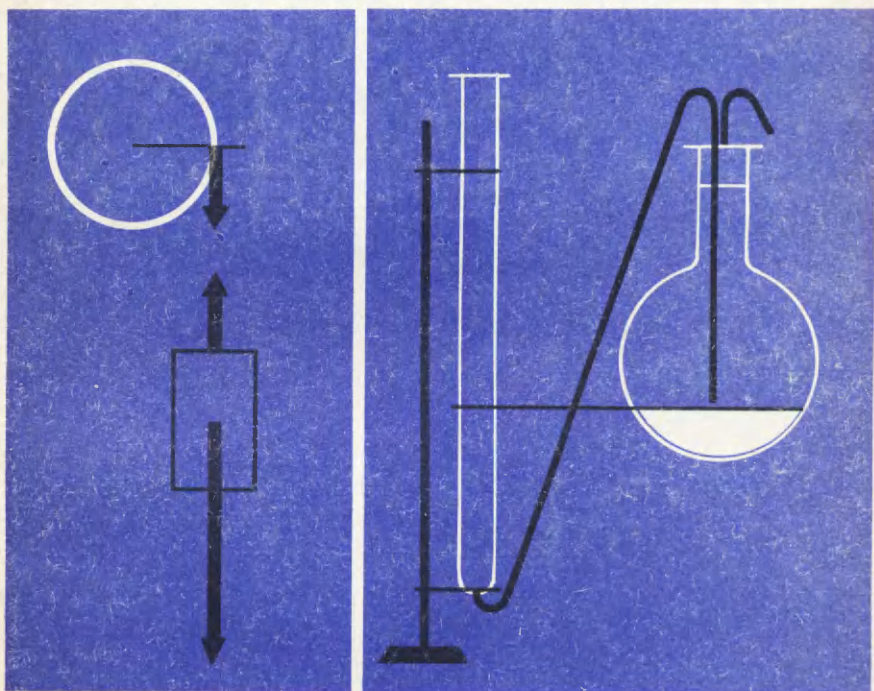


# ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Л. И. АНЦИФЕРОВ







**Л. И. АНЦИФЕРОВ**

# **ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ**

**ФАКУЛЬТАТИВНЫЙ КУРС**

*Пособие для учителей*

**ПОД РЕДАКЦИЕЙ А. А. ПОКРОВСКОГО**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ» · МОСКВА · 1972**

53(07)  
А74

РЕКОМЕНДОВАНО К ИЗДАНИЮ  
ГЛАВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ШКОЛ МИНИСТЕРСТВА  
ПРОСВЕЩЕНИЯ СССР

**Анциферов Л. И.**  
А74 Физический практикум. Факультативный курс.  
Пособие для учителей. Под ред. А. А. Покровского.  
М., «Просвещение», 1972.

120 с. с илл. (Науч.-исслед. ин-т содержания и методов обучения Акад. пед. наук СССР.)

В пособии описано 29 лабораторных работ факультативного практикума по всем разделам курса физики.

## ВВЕДЕНИЕ

МЕТОДИКА  
ПРОВЕДЕНИЯ  
ФИЗИЧЕСКОГО  
ПРАКТИКУМА

### 1. ОТБОР ТЕМАТИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПРАКТИКУМА И ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ

На факультативном практикуме целесообразно выполнять лабораторные работы разного типа. Это могут быть работы на определение физических постоянных, изучение зависимостей между физическими величинами, знакомство с физическими методами исследования, конструирование установок. Введение в практикум старших классов работ на определение физических постоянных диктуется целым рядом соображений.

Во-первых, при изучении физики и прежде всего при решении задач учащиеся пользуются значениями этих величин, но не задумываются над тем, какими путями были получены физические постоянные. Школьники считают наличие постоянных как бы само собой разумеющимся, и на вопрос, как можно определить ту или иную константу, обычно не дают удовлетворительного ответа, хотя и могут назвать ряд формул, в которых содержится рассматриваемая величина.

Во-вторых, определение физических постоянных в ряде случаев связано непосредственно с основополагающими историческими опытами, выполненными классиками физики.

В-третьих, выясняя способы определения констант, таких, как число Авогадро, удельный заряд электрона, постоянная Планка и т. д., учащиеся знакомятся с методами изучения микромира; определение же гравитационной постоянной, диэлектрической и магнитной проницаемости вскрывает перед учащимися возможность изучения разных форм материи.

Работы на изучение зависимостей между физическими величинами и построение графиков, а также работы, раскрывающие физические методы исследования, достаточно представлены в физическом практикуме средней школы. Однако в методических руководствах почти нет работ, от-

ражающих темы факультативного курса. Поэтому мы предлагаем ряд новых работ такого характера.

Наконец, обратим внимание на конструкторские работы. Каждая работа факультативного практикума является в какой-то степени конструкторской, ибо она предполагает разработку учащимися установки для предстоящего опыта. Однако в рассмотренных выше типах работ конструирование стоит на втором плане.

Среди работ практикума, включенных в действующую программу, можно найти такие, которые по своему содержанию являются конструкторскими, — это сборка простейших приемников и усилителей. При подборе работ, относящихся к этой группе, мы учитывали, насколько они позволяют первое место отдать самостоятельному конструированию. В таких работах задания индивидуализированы и предусмотрены различные варианты решения одного и того же задания.

Какие же требования следует предъявить к оборудованию факультативного физического практикума? Прежде всего надо исходить из общепризнанных требований к оборудованию школьного физического эксперимента.

Кроме того, надо иметь в виду следующее:

а) приборы должны быть изготовлены так, чтобы все их детали были доступны изучению: например, блок питания, высокочастотный генератор, генератор развертки, усилитель должны иметь свободный доступ для рассмотрения их монтажа;

б) оборудование должно состоять не из отдельных заранее собранных установок, принцип действия которых ученик должен усваивать, а из небольших комплектов приборов, блоков и приспособлений, которые давали бы возможность собирать необходимые установки;

в) в комплекты оборудования должны входить только такие приборы, принцип действия которых изучался на уроках физики;

г) в тех работах, в которых предусматривается определение физической величины двумя способами, отдельные приборы по возможности должны быть унифицированы, т. е. применяться как для одного, так и для другого способа определения искомой величины.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Письменные руководства к работам практикума могут состоять из двух частей.

Первая часть может содержать либо описание одного способа определения искомой величины (другой предлагается для самостоятельной разработки учащимся), либо описание метода, который следует применить в данной работе, либо описание установки, комплекта приборов, необходимых для выполнения предстоящих опытов.

Вторая часть руководства может содержать задание, включающее вопросы для письменного ответа, экспериментальную познавательную задачу, указания к составлению отчета.

Если в руководстве дано описание опыта, то теория вопроса предшествует перечню оборудования. Здесь прежде всего ставится вопрос. Затем идет его теоретическое рассмотрение, в процессе которого устанавливаются, какие физические величины необходимо измерить. Только после этого выясняют, какое оборудование требуется для измерения искомых величин. Таким образом, оборудование выступает как средство для достижения цели, оно является логическим следствием теоретического рассмотрения вопроса.

Вопросы, включенные в задание, помещаются перед экспериментальной задачей и подбираются так, чтобы они ориентировали учащихся в том направлении, в котором следует вести поиски при самостоятельной разработке опыта. Это требование к вопросам меняет их роль по сравнению с общепринятой. Обычно вопросы помещены в конце инструкции и направлены на повторение и углубление знаний. В нашем же случае они способствуют более успешному составлению плана по заданию и лучшему проведению самостоятельно разработанных опытов.

Характер экспериментальной задачи зависит от типа лабораторной работы. При формулировании экспериментальной задачи иногда даются указания о применении того или иного оборудования, которое может быть предложено либо полностью, либо частично. В последнем случае ставят вопрос о том, какие еще необходимо иметь приборы и принадлежности, чтобы выполнить опыты по заданию.

Указания к составлению отчета ориентируют ученика в том, как вести разработку опыта, составить план предстоящей работы, какие опыты необходимо выполнить во время лабораторных занятий, на что обратить внимание при составлении отчета.

Возможен и такой вариант руководства, когда оно содержит только одно задание.

Рассмотрим пример руководства к работе «Определение момента инерции шара».

### Теоретические сведения

Для определения момента инерции тел можно воспользоваться различными закономерностями. Попытаемся применить закон сохранения и превращения энергии. Если шар скатывается с некоторой высоты  $H$ , то его потенциальная энергия  $mgH$  переходит в кинетическую энергию поступательного и вращательного движений. Тогда можно записать, что

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \quad (1)$$

Исходя из этого соотношения можно было бы подсчитать момент инерции шара  $I$ , если найти способы определения скорости поступательного движения  $v$  и угловой скорости  $\omega$ . Определение массы не составляет труда.

Поскольку шар движется без скольжения, то между его угловой скоростью и скоростью поступательного движения существует простая связь  $v = \omega R$ . Радиус  $R$  определить легко. Значит, все сводится к тому, чтобы найти способ определения  $v$ . Можно, например, поступить следующим образом: подвесить шар в скобе на нити (рис. 1) к точке  $O$  так, чтобы он почти касался дорожки, которая представляет собой часть окружности. Дорожка располагается так, что  $l_1$  на 1—2 мм меньше  $l$ . Тогда шар во время движения от  $A$  до  $B$  касается дорожки, а в точке  $B$  отрывается от нее и, продолжая двигаться за счет кинетической энергии поступательного движения, поднимается на высоту  $h$ , вращаясь при этом в скобе. Значит,

$$\frac{mv^2}{2} = mgh.$$

Из этого соотношения можно найти  $v$ .

$$v^2 = 2gh,$$

тогда

$$\omega^2 = \frac{v^2}{R^2} = \frac{2gh}{R^2}.$$

Подставляя эти значения в уравнение (1), получим:

$$mgH = mgh + \frac{Igh}{R^2},$$

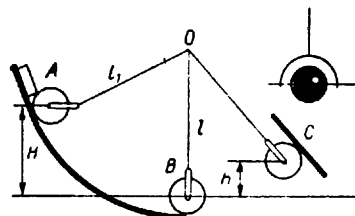


РИС. 1.



откуда

$$I = mR^2 \frac{H-h}{h}.$$

Для определения величин, входящих в конечную формулу, понадобится установка, соответствующая рисунку 1, и приборы: линейка, штангенциркуль, весы с разновесами.

#### Описание установки

На двух штативах, жестко связанных между собой, укрепляют в лапках пластмассовую дорожку, изогнутую в виде дуги окружности (рис. 2). В лапках первого (слева) штатива зажимают также пластинку, фиксирующую положение шара в верхней точке. К верхней точке второго штатива подвешивают на нити шар, вращающийся в скобе. В лапке третьего малого штатива укрепляют планку, фиксирующую отклонения шара после скатывания с дорожки.

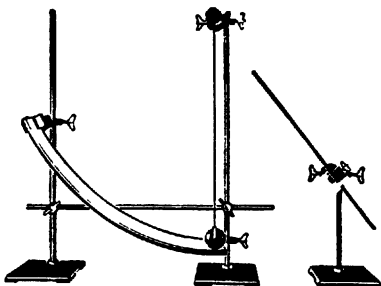


РИС. 2.

#### Ход работы

1. Подводят шар до упора с пластиной на первом штативе. Таким образом он будет находиться на высоте  $H$ . Устанавливают планку в месте предполагаемого наибольшего отклонения шара. Пускают шар. Если шар после отрыва от дорожки не достиг планки, то ее (перемещая третий штатив) следует сдвинуть немного влево и опять пустить шар с высоты  $H$ . Шар скатывают до тех пор, пока не найдут такое положение планки, при котором шар лишь слегка касается ее. Это, очевидно, и даст наибольшее отклонение за счет энергии поступательного движения.

2. Значения  $H$  и  $h$  находят следующим образом. Подводят шар до упора с пластинкой на первом штативе и измеряют расстояние от стола до оси вращения шара  $H_1$ . Оставляют шар свободно висеть на втором штативе. Измеряют расстояние от стола до оси в этом случае  $H_2$ . Подводят шар до упора с планкой и также измеряют расстояние от стола до оси вращения шара  $H_3$ . Данные измерений заносят в таблицу:

$H_1$					
$H_2$					
$H_3$					

Опыт по пункту 1 и измерения по пункту 2 делают не менее пяти раз.

Измеряют диаметр шара штангенциркулем, а массу определяют на рычажных весах.

Значения  $H$  и  $h$  находят по формулам:

$$H = H_1 - H_2,$$

$$h = H_3 - H_2.$$

Погрешностями для  $m$  и  $R$  можно пренебречь, тогда

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta H + \Delta h}{H - h} + \frac{\Delta h}{h}.$$

### З а д а н и е

Подготовьте план предстоящей работы, в который включите следующие пункты:

1. Название работы.
2. Письменные ответы на следующие вопросы:
  - а) Чему равен момент инерции шара, цилиндра?
  - б) Приведите примеры учета момента инерции в технике.
  - в) Какие измерения нужно провести, чтобы опытным путем определить начальную скорость тела, брошенного горизонтально?

3. Зарисуйте схему установки (рис. 1), запишите конечную формулу и формулу для подсчета относительной погрешности искомой величины по описанному в руководстве способу определения момента инерции.

4. Разработайте другой способ определения момента инерции шара. Составьте проект опыта, который должен содержать теорию вопроса (чертеж, способ определения скорости и вывод формулы для определения момента инерции), перечень оборудования, ход работы, формулу для подсчета относительной погрешности.

5. После определения момента инерции шара двумя способами составьте отчет, в который включите данные всех измерений, расчеты с анализом погрешностей и ответы. Сделайте вывод. Укажите использованную литературу.

Рассмотрим еще для примера руководство к работе «Сборка релаксационного генератора и работа с ним».

### Т е о р е т и ч е с к и е с в е д е н и я

Генератор релаксационных колебаний создает пилообразное напряжение за счет постоянного накопления энергии и ее быстрой отдачи (рис. 3). При замыкании ключа конденсатор  $C$  заряжается через сопротивление  $R$ . Напряжение на конденсаторе начинает возрастать. Когда оно станет равным напряжению зажигания неоновой лампы  $U_z$ , произойдет разряд конденсатора через лампу. Так как сопротивление неоновой лампы при разряде мало, то напряжение на конденсаторе резко упадет до величины, при которой лампа гаснет (напряжение погасания  $U_n$ ). Теперь подключенный к конденсатору источник тока опять начнет заряжать его. Напряжение на конденсаторе вновь начнет медленно возрастать, пока не произойдет новый разряд. Таким образом, напряжение на конденсаторе будет меняться по пилообразному закону с периодом  $T$  (рис. 4). Такое пилообразное напряжение можно использовать, напри-

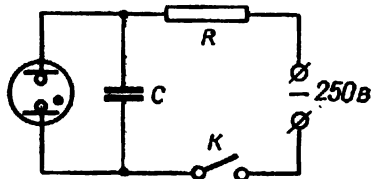


РИС. 3.

мер, для развертки в осциллографе. Однако в этой работе релаксационный генератор будет служить другим целям. Задача лабораторной работы состоит в том, чтобы получить графически зависимость периода колебаний генератора от емкости и сопротивления и потом по графикам определить неизвестные емкости и сопротивления. Пользуясь предлагаемым методом, можно измерять сопротивления порядка мегом и десятков мегом, что труднее сделать другими методами.

Для проведения опытов потребуется следующее оборудование: неоновая лампа МН-5 на панели, рычажный реостат, состоящий из последовательно соединенных четырех сопротивлений по 2 Мом, батарея конденсаторов от 1 до 8 мкф, блок питания, обеспечивающий постоянное напряжение 250 в, секундомер, сопротивление порядка 2—8 Мом без обозначений, конденсатор 1—8 мкф также без обозначений, провода.

Для проведения опытов цепь собирают по рисунку 5.

### З а д а н и е

Составьте план работы, который должен содержать следующие пункты:

1. Название работы.
2. Ответы на следующие вопросы:
  - а) Как будет меняться период колебаний релаксационного генератора с изменением величины  $C$ ?
  - б) Как будет меняться период колебаний генератора с изменением величины  $R$ ?
  - в) Зависит ли период колебаний от напряжения источника тока, потенциала зажигания и погасания неоновой лампы?
  - г) Попытайтесь установить характер зависимости периода колебаний генератора от сопротивления и емкости.

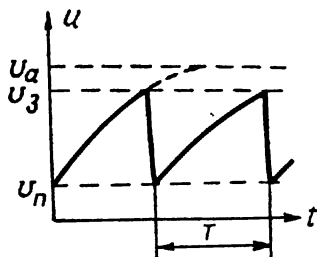


РИС. 4.

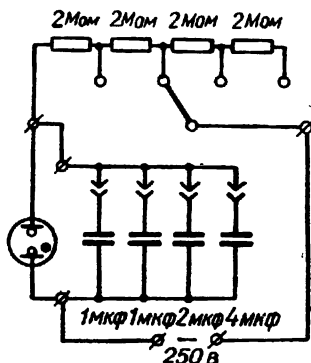


РИС. 5.

3. Перепишите перечень оборудования и начертите схему установки (рис. 5).

4. Продумайте и запишите ход работы для получения графика зависимости периода  $T$  от сопротивления  $R$  при постоянном значении емкости  $C$  и зависимости периода  $T$  от емкости при постоянном сопротивлении  $R$ , а также порядок выполнения опытов для определения по графикам неизвестных емкостей и сопротивлений.

Для записи значений измеренных величин составьте таблицу, например, по такой форме:

Емкость	Сопротивление	Время пяти периодов, сек					Период
$C$ 2 мкф	2 Мом						
	4 Мом						
	6 Мом						
	8 Мом						

После проведения опытов план нужно дополнить отчетом, в который следует включить:

а) результаты всех измерений, расчеты с анализом погрешностей, ответы, графики;

б) список литературы, которая использовалась при выполнении работы.

Чтобы обеспечить наибольшую организованность и сознательность выполнения лабораторных работ, перед практикумом обычно проводят подготовительную беседу, на которой знакомят учащихся с задачами нового вида занятий, с графиком проведения работ и правилами поведения на занятиях практикума, с методикой выполнения работ.

При рассмотрении вопроса о методах выполнения работ важно выделить следующие моменты: знакомство с формой руководств и подготовкой к работе, с ее выполнением и составлением отчета. Следует остановиться и на том, как будет оцениваться работа.

Учащимся сообщают, что руководство им выдают за неделю до лабораторной работы. Дома они должны изучить это руководство, продумать ответы на вопросы. Затем, пользуясь имеющимися знаниями и литературой, подготовить план работы. Здесь нужно подчеркнуть, что при теоретической подготовке и разработке опыта не следует ограничиваться первым же пришедшим решением предложенного

вопроса, а постараться поискать несколько путей решения и выбрать наиболее подходящий. Нужно довести до сознания учащихся, что качество разработки плана оценивается.

Во вступительной беседе следует особое внимание обратить на анализ погрешностей. Нужно разъяснить учащимся, что большое значение имеет обработка полученных данных, ибо это дает возможность правильно оценить качество опыта. Нужно на конкретном примере напомнить учащимся, как находят среднее значение измеренной величины и ее абсолютную погрешность.

При выполнении лабораторной работы искомая величина не всегда может быть определена непосредственным измерением; чаще она входит в формулу, содержащую другие величины, подлежащие непосредственному измерению с помощью физических приборов. Поэтому для подсчета среднего значения искомой величины и ее погрешностей нужно произвести ряд вычислений на базе средних значений измеренных величин и их погрешностей. Для обзора всеми учащимися нужно вывесить таблицу подсчета погрешностей и привести примеры, как ею пользоваться.

Далее рассматривают, в какой последовательности необходимо выполнять расчеты. Вначале, пользуясь данными измерений и абсолютными погрешностями измеренных величин, следует подсчитать относительную погрешность искомой величины, а затем определять эту величину и ее абсолютную погрешность. Такой подход связан с тем, что обычно, начиная расчеты, учащиеся не анализируют погрешности величин, полученных при измерениях. Определяя искомую величину, они не задумываются над тем, сколько значащих цифр оставлять в промежуточных действиях и в конечном результате. В расчетах наблюдается громоздкость вычислений, а конечный результат часто выглядит малограмотно, потому что учащиеся оставляют в ответе 3—4 значащие цифры, а относительная погрешность измерения составляет 15—20%.

Чтобы избежать излишних вопросов со стороны учащихся, следует сформулировать порядок проведения расчетов.

1. Записать данные измеренных величин, входящих в конечную формулу.

2. Подсчитать средние значения измеренных величин и их абсолютные погрешности.

3. Пользуясь таблицей, записать формулу для подсчета

относительной погрешности искомой величины и найти относительную погрешность.

4. Установить, с какой точностью следует подсчитывать искомую величину.

5. Определить искомую величину, подсчитать ее абсолютную погрешность и записать ответ.

Выше уже было отмечено, что руководство может содержать только познавательную экспериментальную задачу. Рассмотрим кратко занятие этого вида на примере выполнения работы «Изучение диэлектрической проницаемости жидкости».

Для подготовки к работе учащимся на дом дают руководство, содержащее следующее задание:

выяснить, от каких факторов зависит диэлектрическая проницаемость жидкости. Разработать опыт для изучения одной из этих зависимостей, воспользовавшись для этого кюветой-конденсатором. Учащимся предоставляется возможность ознакомиться с кюветой-конденсатором (см. рис. 33 и 77).

Получив задание, учащиеся дома по учебникам, пособиям и справочникам устанавливают зависимость диэлектрической проницаемости жидкости от целого ряда физических величин и выбирают одну из зависимостей для опытного изучения на лабораторных занятиях. Например, рассмотреть зависимость диэлектрической проницаемости от рода или плотности жидкости (глицерин, спирт); изучить зависимость диэлектрической проницаемости глицерина от температуры; выяснить, зависит ли диэлектрическая проницаемость от концентрации раствора и можно ли для этого воспользоваться школьным оборудованием и т. д.

Допустим, ученик выбрал последнее. Он устанавливает, что для кюветы-конденсатора можно приготовить растворы определенной концентрации (например, растворы сахара). Если будет меняться диэлектрическая проницаемость раствора, значит, будет меняться емкость конденсатора, который образован двумя гранями кюветы с расположенным между ними раствором диэлектрика. Для плоского конденсатора в системе СИ  $C = \frac{\epsilon S}{d}$ , откуда  $\epsilon = \frac{Cd}{S}$ , где  $C$  — емкость;  $d$  — расстояние между пластинами;  $S$  — площадь пластин (граней кюветы-конденсатора).  $S$  и  $d$  легко можно измерить. Остается найти способ определения электроемкости  $C$ . Поскольку величина емкости кюветы-конденсатора, судя по ее конструкции, должна быть небольшой, то наиболее подходящими будут либо мостовой, либо резонансный метод определения  $C$ . И тот и другой предусмотрены конструкцией оборудования к работам практикума.

Учащийся допускается к выполнению эксперимента тогда, когда он полностью и правильно подготовил план или при несколько ошибочном плане, когда ученик может обнаружить свою ошибку в процессе выполнения опыта. Так,

в нашем примере учащиеся пытаются вначале определить диэлектрическую проницаемость дистиллированной воды. Однако опыт не удается. Они делают ошибочный вывод: добиться резонанса нельзя, так как собственная частота колебательного контура (катушка и кювета-конденсатор, наполненный водой) не перекрывается диапазоном частот генератора. Тогда им предлагают сделать элементарный подсчет частоты колебательного контура и учащиеся убеждаются в ложности своего вывода. Значит, нужно искать другую причину.

Если учащиеся сами не догадываются проверить электропроводность воды, то им нужно это подсказать. Убедившись в том, что дистиллированная вода, полученная в школьных условиях, проводит ток (через кювету-конденсатор при напряжении 220 в течет ток 5—10 ма), они делают вывод о невозможности постановки предложенного опыта.

Если учащиеся решили изучить зависимость диэлектрической проницаемости жидкости от температуры, то на основании опыта с глицерином или спиртом они получают удовлетворительный график искомой зависимости.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы № 1—5, предложенные в пособии, отражают содержание следующих вопросов: обобщение понятий кинематики и динамики, вращательное движение твердых тел. После изучения этих тем целесообразно сразу же провести первый практикум по механике. Для группы учащихся в 20 человек необходимо иметь по два комплекта оборудования на каждую лабораторную работу.

Работы № 6—10 выполняют во втором практикуме, после изучения избранных вопросов молекулярно-кинетической теории.

Практикумы по электромагнетизму и оптике проводятся в три цикла. Работы подбираются таким образом, чтобы избежать дублирования приборов. Первый цикл работ ставят после изучения полупроводников и электромагнетизма. В него можно включить работы № 14, 18, 20, 23, 24. Второй цикл работ выполняют после изучения переменного тока и электромагнитных колебаний; в него входят работы № 12,

13, 15, 19, 22. Наконец, работы третьего цикла выполняются, когда изучены вопросы волновых и квантовых свойств света по систематическому курсу, а также закончено изучение всех теоретических вопросов на факультативных занятиях. Сюда целесообразно отнести работы № 21, 26, 27, 28, 29.

Оборудование к практикуму позволяет дополнительно поставить еще ряд работ: сборка установок на электронной лампе, запись и воспроизведение звука, изучение магнитного поля катушки, изучение тиратрона и другие.

Деление работ на циклы условно. Возможны и другие варианты перераспределения лабораторных работ.

Оборудование к работам изготовлено с учетом приборов, уже выпускающихся промышленностью. На факультативном практикуме из этих приборов применяются: авометры, измерительные приборы для фронтальных лабораторных работ, микрометр, секундомер, рулетка, камертон, громкоговоритель, микрофон, головные телефоны, блок конденсаторов, реостат, патрон на подставке для лампы на 3,5 в, магнитная стрелка, компас, ключ, постоянный магнит, реохорд, радиореле, кенотронный выпрямитель, спектроскоп, спектральные трубки, фотоэлемент СЦВ-4, светофильтры.

Далее описаны работы по механике, молекулярной физике, электромагнетизму и оптике. Для иллюстрации оборудования к работам даны рисунки.





## МЕХАНИКА

### РАБОТА № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

В работе предусмотрено два способа определения ускорения свободного падения. В одном из них применяются законы кинематики, в другом — закон сохранения энергии.

#### I способ

Для определения ускорения силы тяжести можно исходить из следующих соображений. Известно, что при равноускоренном движении (свободном падении) пути, проходимые телом за равные последовательные промежутки времени, относятся как последовательный ряд нечетных чисел, и в частности  $H_1 : H_2 = 1 : 3$ , где  $H_1$  — путь, пройденный телом за первый промежуток времени,  $H_2$  — путь, пройденный за второй такой же промежуток времени. Так как  $H_1 = \frac{gt^2}{2}$ ,  $H = \frac{g(2t)^2}{2}$ ,  $H_2 = H - H_1$ , то  $H_2 = \frac{3gt^2}{2}$ , откуда  $g = \frac{2H_2}{3t^2}$ .

Задача сводится к определению высоты  $H_2$  и времени  $t$ . Эти величины можно определить с помощью установки, собранной на штативе (рис. 6), и линейки.

#### Описание установки

На стержне  $a$  укреплен электрический мотор  $b$ , делающий за каждую секунду один оборот. Ось мотора соединяется с осью  $f$  резиновой трубкой  $c$ . На оси  $f$  находятся пенопластовые диски  $d$ ,  $e$ ,  $g$ . По бортику диска  $d$  нанесена шкала (100 равных делений). На бортики нижних дисков наклеиваются полоски чистой бумаги.

Цилиндр  $K$  с кистью при свободном падении скользит по направляющим струнам  $l$ , которые входят в пазы, сделанные на поверхности цилиндра. Для смягчения удара цилиндра внизу в зажиме штатива устанавливается резиновая пробка  $h$ , через которую пропущены направляющие

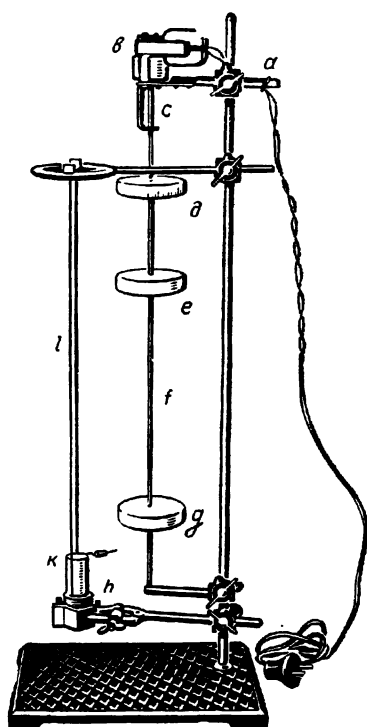


РИС. 6.

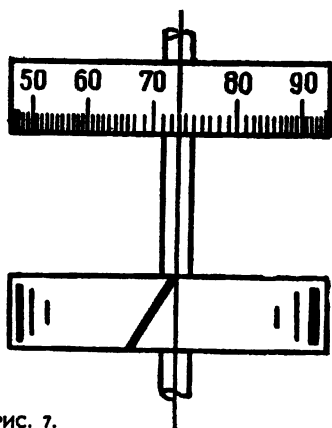


РИС. 7.

струны *l*. Цилиндр в верхнем положении может удерживаться рукой. При свободном падении цилиндра кисть прочерчивает штрихи на бортиках вращающихся дисков. Диски *g*, *e* могут передвигаться вдоль оси *f* и таким образом можно менять фиксируемое расстояние, которое проходит цилиндр.

Чтобы подсчитать время падения цилиндра между дисками, пользуются штрихами, отмеченными на бортиках вращающихся дисков кистью падающего цилиндра и показаниями шкалы. При выключенном двигателе смотрят со стороны направляющих струн *l*. Поворачивают ось с дисками так, чтобы начало штриха на бортике диска *e*, струна и ось находились в одной плоскости (рис. 7). Пользуясь шкалой диска *d*, отсчитывают и записывают первое показание  $n_1$  (на рис. 7  $n_1 = 73$ ). Затем поворачивают ось *f* в сторону вращения до такого положения, чтобы начало штриха на бортике диска *g* находилось в одной плоскости с той же струной и осью *f*. Записывают второе показание шкалы  $n_2$ . Тогда

$$t = \frac{n_1 - n_2}{100} \text{ сек.}$$

## Ход работы

1. Наклеивают на бортики дисков  $g$ ,  $e$  полоски чистой бумаги шириной в толщину дисков. Устанавливают диски так, чтобы расстояние между нижней кромкой диска  $d$  и верхней кромкой диска  $e$  было 8 см. Тогда расстояние между верхними кромками дисков  $g$  и  $e$  должно быть 24 см.

2. Смочив кисть чернилами, располагают цилиндр так, чтобы кисть находилась в непосредственной близости от нижней кромки диска  $d$ . Включив мотор, отпускают цилиндр через 4—5 сек. Выключают мотор. Отсчитывают по шкале значения  $n_1$  и  $n_2$ . Карандашом отмечают полученные при опыте штрихи. Проводят все операции и измерения по пункту 2 не менее десяти раз.

В одном из опытов были получены такие результаты:

$n_1$	15	85	73	64	109	92	44	103	57	22
$n_2$	3	72	60	52	95	80	31	91	45	9
$t$ сек	0,12	0,13	0,13	0,12	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,13

$H_1 = 0,08$  м,  $H_2 = 0,240$  м  $\pm 0,002$  м,  $t = 0,126$  сек  $\pm 0,006$  сек.

Относительная погрешность ускорения будет порядка 10%.

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2} \pm 1 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

## II способ

Для определения ускорения силы тяжести вторым способом применяется другой прибор (рис. 8). Он состоит из цилиндра, в котором имеется пружина, упирающаяся в крышку с двумя бортиками  $A$  (рис. 9). Бортики скользят вдоль пазов. Около одного паза нанесены шкалы в сантиметрах и в ньютонах. На цилиндр одето кольцо  $K$ , которое с небольшим трением может перемещаться вдоль цилиндра.

Пусть шар падает с некоторой высоты  $H$ . Ударяясь о крышку, он сжимает пружину. Бортики нажимают на коль-

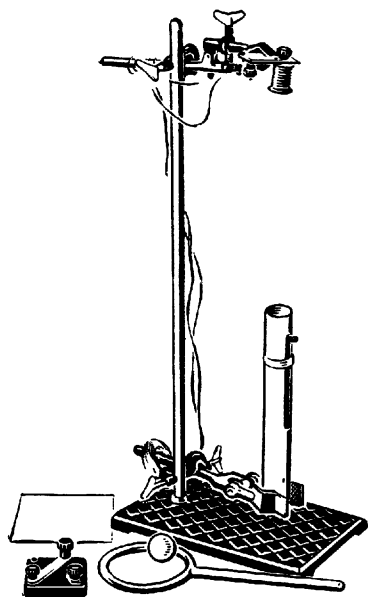


РИС. 9.      ↑ РИС. 8.

←

цо и заставляют его перемещаться. Кольцо отмечает величину наибольшего сжатия, т. е. фиксирует момент, когда энергия шара перешла в энергию сжатой пружины.

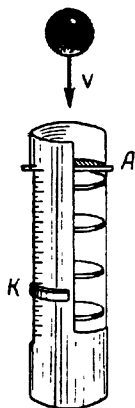
Значит,  $mgH = \frac{Fs}{2} + A$ , где  $m$  — масса шара;  $H$  — расстояние от точки падения до кольца;  $F$  — наибольшая сила сжатия;  $s$  — величина сжатия пружины;  $A$  — работа преодоления сил трения между крышкой, пружиной и цилиндром. При движении шара вверх за счет потенциальной энергии (при той же силе сжатия) шар поднимается на высоту  $H_1$ . Тогда можно записать

$$\frac{Fs}{2} = mgH_1 + A.$$

Решив систему уравнений относительно ускорения свободного падения, получим:

$$g = \frac{Fs}{m(H+H_1)}.$$

Для проведения опыта понадобится такое оборудование (рис. 8): цилиндр с двумя шкалами, штатив, лабораторный электромагнит, стальной шар диаметром 25 мм, кольцо штатива, ключ, провода, лист плотной бумаги размером 8 см × 8 см, кроме того, весы, разновесы, линейки, аккумулятор (4 в).



### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 8. Подносят шар к электромагниту, замыкают цепь. Таким образом шар удерживается вверх.

Перемещением цилиндра добиваются такого его положения, чтобы при размыкании цепи шар попадал в цилиндр, не задевая его борта. Для извлечения шара из цилиндра опускают крышку, взявшись пальцами за ее бортики, затем резко отпускают пальцы и шар выскакивает.

2. Подняв шар до упора со стержнем электромагнита, замыкают цепь. Кольцо  $K$  поднимают вверх. Размыкают цепь. Шар, влетая в цилиндр, опускает кольцо. Однако не каждый раз шар удачно попадает в цилиндр, поэтому его нужно пустить несколько раз. При этом кольцо  $K$  может еще немного передвинуться вниз. Замечают самое нижнее положение кольца  $K$ . Отсчитывают по шкалам значения наибольшего расстояния  $s$ , на которое опускалась крышка, и наибольшее значение силы сжатия  $F$ .

Опыт по пункту 2 продельвают еще 2—5 раз. Данные всех измерений заносят в таблицу.

Находят среднее значение  $s$ . Устанавливают кольцо  $K$  у среднего значения. Измеряют расстояние  $H$  от нижней границы подвешенного к электромагниту шара до крышки, которую опускают до упора с кольцом.

3. Снимают со штатива электромагнит и укрепляют кольцо, на которое кладут лист бумаги. Опускают шар в цилиндр. Взявшись пальцами за бортики, опускают крышку до упора с кольцом и отпускают пальцы (чтобы кольцо не сдвинулось с деления, его удерживают другой рукой). Если подскочивший шар не долетает до листа бумаги, то кольцо опускают, если ударяется в лист бумаги, то кольцо немного поднимают. Выстреливая шаром, добиваются такого положения листа, при котором шар лишь слегка его касается, когда находится в высшей точке. Измеряют расстояние  $H_1$ , на которое поднимается шар. Значения  $H_1$  находят для пяти случаев.

Возможны такие результаты:

$$F = 6,20 \text{ н} \pm 0,05 \text{ н};$$

$$s = 8,7 \cdot 10^{-2} \text{ м} \pm 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$H = 0,500 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м};$$

$$H_1 = 0,340 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м};$$

$$m = 65 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \pm 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Относительная погрешность при этом способе определения ускорения свободного падения будет 3%.

$$\text{Ответ: } g = 9,9 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2} \pm 0,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

В работе скорость снаряда можно определить двумя способами. В одном из них применяется закон сохранения импульса, а в другом — закономерности кинематики.

В первом случае используют баллистический маятник. Пусть шар массой  $m$  движется со скоростью  $v$  (рис. 10). Попадая в ящик с песком, шар застревает в нем. По закону сохранения импульса

$$mv = (m + m_1) v_1, \quad (1)$$

где  $m_1$  — масса ящика с песком;  $v_1$  — скорость всех тел после неупругого удара. За счет сообщенного импульса подвешенный ящик отклоняется и поднимается на высоту  $h$ , его кинетическая энергия переходит в потенциальную. Тогда

$$\frac{(m+m_1) v_1^2}{2} = (m+m_1) gh,$$

или  $v_1 = \sqrt{2gh}$ . Подставляя значение  $v_1$  в уравнение (1) и решая его относительно  $v$ , получим:

$$v = \frac{m+m_1}{m} \sqrt{2gh}.$$

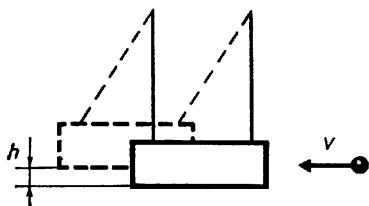


РИС. 10.

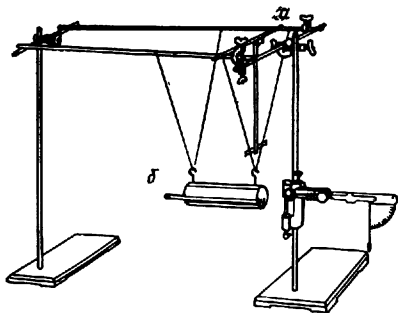


РИС. 11.

Для выполнения опыта потребуется следующее оборудование (рис. 11): баллистический маятник, укрепленный на двух штативах, баллистический пистолет, а также весы с разновесами, линейка.

В нашей работе маятником является трубка, подвешенная на нитях. Внутри трубки помещена вата. Баллистический пистолет располагается горизонтально против открытого конца трубки.

При выполнении опыта высоту отсчитывают по углу отклонения нитей, на которых подвешен маятник. Для фиксирования наибольшего угла отклонения применяется изготовленная из пенопласта стрелка. Чтобы стрелка могла остановиться при любом отклонении, она вращается вокруг оси с некоторым трением. Поперечная планка стрелки притягивается к горизонтальным стержням нитками (рис. 11, а).

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 11. Устанавливают линейку вертикально рядом с указателем маятника (рис. 11, б), записывают значение его высоты над столом  $h_1$ . Заряжают пистолет. Подводят указатель угла отклонения к нитям маятника и производят выстрел.

Отклоняют маятник до указателя угла и записывают новое значение высоты указателя маятника над столом  $h_2$  после выстрела. Опыты и измерения делают не менее пяти раз.

Возможны такие результаты при выполнении опытов:

$$h_1 = 10,7 \text{ см};$$

$$m = 0,053 \text{ кг};$$

$$m_1 = 0,121 \text{ кг};$$

$$h_2 = 15,6 \text{ см}, 15,4 \text{ см}, 15,5 \text{ см}, 15 \text{ см}, 15,1 \text{ см};$$

$$h = h_2 - h_1 = 0,045 \text{ м}.$$

Относительная погрешность будет порядка 5%.

$$v = 3,1 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \pm 0,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

Начальную скорость снаряда того же пистолета можно определить, выполняя бросание либо вертикально вверх, либо горизонтально, либо под углом к горизонту. Лабораторные работы такого вида подробно рассмотрены в «Практикуме по физике в средней школе», под ред. А. А. Покровского. М., Учпедгиз, 1963.

## РАБОТА № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В работе предусматриваются опыты по определению момента инерции тела, имеющего барабан, на который может наматываться нить. Момент инерции тела может быть оп-

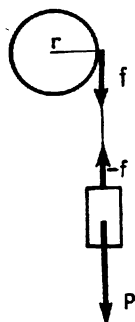


РИС. 12.

ределен на основании уравнения  $I = -\frac{M}{\beta}$ , где  $M$ —момент силы,  $\beta$ —угловое ускорение;  $M$  и  $\beta$  находятся из следующих соображений (рис. 12):  $M=fr$ , где  $r$ —радиус барабана. Уравнения движения для тела и груза будут иметь вид:

$$\begin{cases} fr = I\beta, \\ mg - f = ma, \end{cases} \text{ где } m \text{ — масса груза.}$$

Но  $a = -\frac{2h}{t^2}$ ,  $\beta = \frac{a}{r}$ ; подставляя значения  $a$  и  $\beta$  в уравнения движения и решая систему уравнений относительно  $I$ , получим:

$$I = mr^2 \left( \frac{gt^2}{2h} - 1 \right).$$

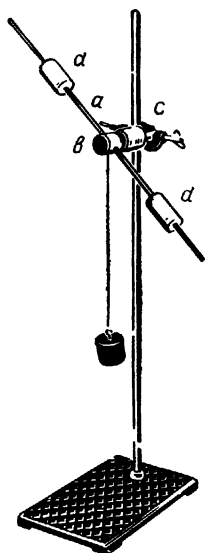


РИС. 13.

В качестве вращающегося тела в работе применяется маятник Обербека, общий вид которого показан на рисунке 13. Маятник представляет собой стержень  $a$ , укрепленный на оси  $b$ , вращающейся во втулке  $c$ , которая крепится к штативу. Вдоль стержня могут перемещаться цилиндры  $d$ . С помощью стопорных винтов цилиндры можно закреплять в различных точках стержня. На оси имеется барабан. На барабан наматывается нить, к концу которой подвешивается груз. При опускании груза маятник приходит в равноускоренное вращательное движение. Положение груза можно отмечать по делениям линейки или рулетки.

Для проведения опыта необходимо следующее оборудование: маятник Обербека, укрепленный на штативе, груз (100 г), секундомер, рулетка, штангенциркуль, весы и разновесы.

### Ход работы

На барабан наматывают нить, поднимая груз до определенной высоты. Отпускают стержень маятника и одновре-



менно включают секундомер. В момент достижения грузом низшей точки останавливают секундомер. Опыт проводят несколько раз. Измеряют высоту, на которую опускается груз, расстояние между центрами масс цилиндров и определяют их массы.

При подсчете момента инерции возможны следующие результаты:

$$m = 0,1000 \text{ кг} \pm 0,0005 \text{ кг}, \quad r = 0,0100 \text{ м} \pm 0,0001 \text{ м},$$

$$t = 19,8 \text{ сек} \pm 0,2 \text{ сек}, \quad h = 1,000 \text{ м} \pm 0,005 \text{ м}.$$

Погрешность момента инерции будет около 5%.

$$I = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \pm 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Грузы маятника имеют массы  $M$ , их момент инерции  $I_1 = 2Ml^2$ , где  $l$  — расстояние от центра массы цилиндра до оси вращения.

$$M = 0,162 \text{ кг} \pm 0,001 \text{ кг}, \quad I_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \pm$$

$$l = 0,223 \text{ м} \pm 0,001 \text{ м}, \quad \pm 0,01 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Таким образом, момент инерции маятника определяется в основном моментом инерции грузов.

**Примечание.** Определение всех величин, входящих в конечную формулу, занимает немного времени, поэтому момент инерции следует определить для различных положений цилиндров на стержне и выяснить, что только при достаточно больших значениях  $l$  грузы можно принимать за материальные точки.

В работу целесообразно включить вопросы по определению углового ускорения и силы натяжения нити.

## РАБОТА № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ШАРА

На лабораторной работе определяются моменты инерции шара или цилиндра относительно их осей симметрии, проходящих через центр масс (у цилиндра вдоль его оси). Установка в основном собирается до лабораторных занятий (рис. 2). Два штатива жестко соединены между собой. В лапках штативов зажата пластмассовая дорожка, которая изогнута дугой с радиусом порядка  $l$  (рис. 1).

Для определения момента инерции первым способом на штативе подвешивают шар (или цилиндр), свободно вращающийся в скобе. Когда шар находится в точке *A*, нить должна слегка провисать, а в точке *B* шар должен едва касаться дорожки.

На страницах 6—8 изложено содержание этого опыта и показано, что момент инерции можно подсчитать по формуле:

$$I = mR^2 \frac{H-h}{h}.$$

Возможны такие результаты (для шара):

$$H = 0,230 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м}, \quad h = 0,160 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м}.$$

Погрешность искомой величины может быть порядка 8%.

$$I = 0,43 mR^2 \pm 0,04 mR^2.$$

Скорость шара при отрыве от пластмассовой дорожки, видимо, можно найти и из других соображений. Пусть шар, скатываясь по дорожке, в точке *B* приобретает скорость *v*, направленную горизонтально. За счет этой скорости шар пролетает расстояние *s* (рис. 14). Тогда момент инерции будет:

$$I = mR^2 \frac{4Hh-s^2}{s^2}.$$

Опыты могут дать следующие результаты (для шара):

$$H = 0,100 \text{ м} \pm 0,001 \text{ м},$$

$$h = 0,100 \text{ м} \pm 0,001 \text{ м},$$

$$s = 0,170 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м}.$$

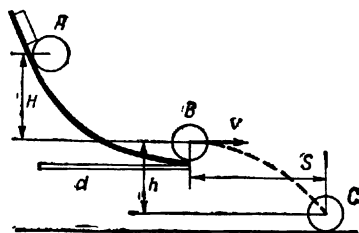


РИС. 14.

Относительная погрешность момента инерции шара будет около 9%.

$$I = 0,39 mR^2 \pm 0,03 mR^2.$$

Значения момента инерции шара даны относительно величины  $mR^2$  для того, чтобы ответ можно было лучше сравнивать с теоретическим расчетом.

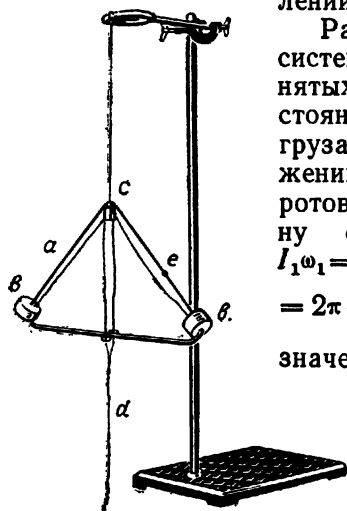
При выполнении опытов не следует устанавливать дорожку вблизи точки *A* очень круто. В этом случае возможно проскальзывание шара.

## РАБОТА № 5

### ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА

Эта работа выполняется на приборе, состоящем из проволочного каркаса треугольной формы (рис. 15). Вдоль стержней *a* могут двигаться грузы *b*. К грузам привязывают нити, которые перебрасываются через блоки *c*. Если потянуть за нити *d* вниз, то грузы будут перемещаться вверх вдоль стержней. Таким образом момент инерции системы может меняться во время вращения.

Прибор подвешивают к штативу на нити длиной 25—30 см. Штатив устанавливают к краю стола так, чтобы нити, перекинутые через блоки, свисали у края стола. Для ограничения движения грузов в средней части стержня наматывают нить *e*. Такое ограничение позволяет выполнять измерения при меньшей скорости вращения. Кроме того, уменьшается погрешность при определении момента инерции грузов.



Работа предусматривает изучение системы в двух положениях — при поднятых и опущенных грузах. Пусть расстояние между центром массы одного груза и осью вращения в первом положении —  $r_1$ , во втором —  $r_2$ ; число оборотов соответственно  $n_1$  и  $n_2$ . По закону сохранения момента импульса  $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$ , но  $I_1 = 2mr_1^2$ ,  $I_2 = 2mr_2^2$ ,  $\omega_1 = 2\pi \frac{n_1}{t_1}$ ,  $\omega_2 = 2\pi \frac{n_2}{t_2}$ . Подставляя значения  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ , получим:  $r_1^2 \frac{n_1}{t_1} = r_2^2 \frac{n_2}{t_2}$ . Иначе говоря, нужно сравнить две величины:  $r_1^2 \frac{n_1}{t_1}$  и  $r_2^2 \frac{n_2}{t_2}$ .

РИС. 15.

Для проведения опыта, кроме рассмотренного прибора, необходимы секундомер, линейка и нитки.

### Ход работы

Нить наматывают приблизительно на расстоянии  $1/3$  длины стержня от нижнего основания. Приведя систему во вращение, выполняют несколько раз пробные измерения времени по секундомеру для 4—5 оборотов грузов при разных их положениях на стержне.

Линейкой определяют расстояние между центрами масс грузов, когда они находятся в нижнем положении  $2r_2$ . Затем, потянув за нить  $d$ , подтягивают грузы до упора с кольцом из нити, измеряют расстояние между центрами масс в этом верхнем положении  $2r_1$ .

Рукой приводят систему во вращение со скоростью приблизительно один оборот в секунду. По секундомеру отсчитывают время пяти оборотов —  $t'_1$ . Потянув за нить  $d$ , поднимают грузы вверх до упора с кольцом из нити и по секундомеру определяют время пяти оборотов при новом положении грузов —  $t_2$ . Опускают нить и вновь отсчитывают время пяти оборотов —  $t''_1$ , когда грузы находятся в нижнем положении

$$t_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2}.$$

Опыты следует проводить в разных вариантах:

- 1 — грузы вверх — вниз — вверх,
- 2 — грузы вниз — вверх — вниз.

По данным сравнивают искомые величины:

$$r_1^2 \frac{n_1}{t_1} \text{ и } r_2^2 \frac{n_2}{t_2}.$$

Возможны, например, такие результаты:

$$\begin{array}{lll} 2r_1 = 0,1 \text{ м,} & 2r_2 = 0,13 \text{ м,} & r_1^2 \frac{n_1}{t_1} = 0,00417, \\ n_1 = 4, & n_2 = 4, & \\ t_1 = 2,4 \text{ сек,} & t_2 = 4,1 \text{ сек,} & r_2^2 \frac{n_2}{t_2} = 0,00413. \end{array}$$



# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОТА

## РАБОТА № 6

### ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

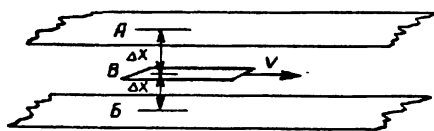
При движении тел в вязкой жидкости ближайший ее слой (в случае смачивания) прилипает к поверхности тела. Остальные слои жидкости скользят друг относительно друга.

Допустим, что жидкость находится между двумя параллельными плоскостями *A* и *Б*. В жидкости на расстояниях  $\Delta x$  от *A* и *Б* со скоростью  $v$  движется пластинка *В* (рис. 16, *I*). Тогда на поверхность пластинки будет действовать сила, обусловленная внутренним трением

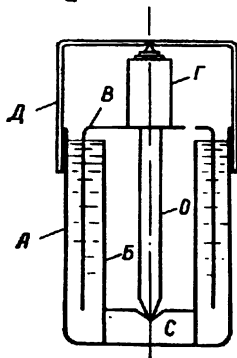
$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} S,$$

где  $\frac{\Delta v}{\Delta x}$  — градиент скорости, показывающий, насколько отличаются скорости слоев жидкости, отстоящие друг от друга на единицу длины;  $\eta$  — коэффициент вязкости, кото-

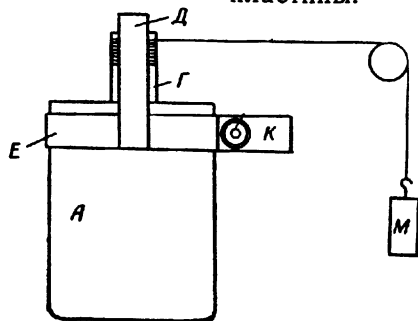
рый численно равен силе внутреннего трения между двумя слоями жидкости с площадью, равной единице, при единичном градиенте скорости;  $S$  — площадь пластины.



*I*



*II*



*III*

РИС. 16.

Рассмотренную формулу можно положить в основу определения коэффициента вязкости жидкости, если воспользоваться прибором, показанным на рисунке 16, II и III. Прибор представляет собой двойной алюминиевый стакан (рис. 16, II), между стенками которого *A* и *B* наливается исследуемая жидкость. В жидкости вращается цилиндр *B*, укрепленный на оси *O*. Цилиндр имеет отверстие, которое необходимо для выхода воздуха в момент заливания жидкости. На оси *O* укреплен барабан *Г*, на который наматывается нить, вращающая цилиндр под действием груза *M*, перекинутого через блок (рис. 16, III). Ось *O* вращается на игольчатых подшипниках, упираясь в стальное основание *C* и скобу *D*. Скоба приклепана к хомутику *E*, охватывающему внешний стакан *A*. Хомутик закрепляется стяжным болтом с фасонной гайкой. Конец хомутика *K* зажимается в лапках штатива.

Коэффициент вязкости находят из следующих соображений. На систему цилиндр *B* — барабан *Г* действуют два момента сил: момент силы, приложенной со стороны нити к барабану, и момент силы, обусловленной вязкостью жидкости. При равномерном вращении цилиндра эти моменты сил будут равны; сила, приложенная к барабану, будет равна весу груза *M*. Тогда можно записать:

$$Pr = FR, \text{ или}$$

$$F = \frac{Pr}{R},$$

где *P* — сила, приложенная к барабану; *r* — радиус барабана; *F* — сила, действующая на цилиндр со стороны жидкости; *R* — радиус цилиндра. С другой стороны,

$$F = \eta \frac{v}{x} S, \quad (1)$$

где *v* — линейная скорость цилиндра *B* относительно стакана; *x* — расстояние между *A* и *B* или *B* и *B*; *S* — площадь внутренней и внешней поверхности цилиндра, погруженной в жидкость. Очевидно,  $S = 4\pi R h$ , где *h* — высота части цилиндра, находящаяся в жидкости. Скорость *v* можно найти, если подсчитать число оборотов *N* за определенный промежуток времени *t*:

$$v = 2\pi R \frac{N}{t}.$$

Подставляя значения  $F$ ,  $S$  и  $v$  в уравнение (1) и решая его относительно  $\eta$ , получим:

$$\eta = \frac{Prxt}{8\pi^2 R^3 h N}.$$

Для проведения опыта по определению коэффициента вязкости, кроме описанного прибора, понадобятся разновесы, штангенциркуль, секундомер.

### Ход работы

Отвернув фасонную гайку и сняв скобу с хомутиком, вынимают цилиндр  $B$ . Штангенциркулем измеряют диаметр внутренней поверхности стакана  $A$ , диаметр внешней поверхности стакана  $B$ , диаметр внутренней и внешней поверхностей цилиндра  $B$ . Эти измерения дают возможность подсчитать радиус  $R$ , а также среднее значение расстояния между  $A$  и  $B$ ,  $B$  и  $B$ , которое и будет  $x$ . Измеряют диаметр барабана  $\Gamma$  и находят его радиус  $r$ .

При конструировании прибора на цилиндре  $B$  наносят штрих на том уровне, где устанавливается поверхность жидкости, когда она достигает верхней кромки стакана  $B$ . Штангенциркулем определяют высоту  $h$  от нижней кромки цилиндра  $B$  до штриха.

После измерений  $x$ ,  $R$ ,  $r$  и  $h$  прибор собирают и укрепляют в лапке штатива. Наливают исследуемую жидкость до верхней кромки стакана  $B$  (это видно через отверстие в цилиндре  $B$ ), наматывают нить на барабан, перебрасывают ее через блок и подвешивают груз 102 г. Отпустив груз, через 2—3 оборота цилиндра замечают время. Отсчитывают 10 оборотов и останавливают секундомер. Таким образом получают значения  $N$  и  $t$ .

В одном из опытов с касторовым маслом были получены следующие результаты:

$$\begin{aligned} x &= 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \pm 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & h &= 8,0 \cdot 10^{-2} \text{ м} \pm 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \\ R &= 3,30 \cdot 10^{-2} \text{ м} \pm 0,02 \cdot 10^{-2} \text{ м}, & r &= 0,0100 \text{ м} \pm 0,0001 \text{ м}, \\ N &= 10 \text{ оборотов}, & t &= 22,4 \text{ сек} \pm 0,1 \text{ сек}. \end{aligned}$$

Относительная погрешность искомой величины будет порядка 3%.

$$\eta = 0,70 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}} \pm 0,02 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}}.$$

При выполнении лабораторной работы по изучению вязкости жидкости на факультативных занятиях целесообразно рассмотреть зависимость коэффициента вязкости от температуры. Подогревать жидкость в приборе можно, либо устанавливая прибор на электрическую плитку, либо опуская его в ванну с водой. Температуру воды в ванне можно менять смешением горячей и холодной воды (рис. 17). Второй вариант дает лучшие результаты.

Итак, для проведения опыта, кроме рассмотренного выше оборудования, понадобится нагреватель и термометр.

Для изучения зависимости вязкости жидкости от температуры находят время десяти оборотов цилиндра при разных температурах, подсчитывают соответствующие коэффициенты вязкости и строят график.

Вязкость касторового масла сильно зависит от температуры. Возможны такие результаты:

$t^{\circ}$ —23°C, 24°C, 24,5°C, 25°C, 32°C.

$\eta$ —0,88, 0,76, 0,72, 0,70, 0,47.

Хорошие результаты можно получить с машинным маслом или с любым другим маслом, коэффициент вязкости которого порядка десятых и сотых долей  $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}}$  и которое смачивает цилиндр и стакан, изготовленные из алюминия.

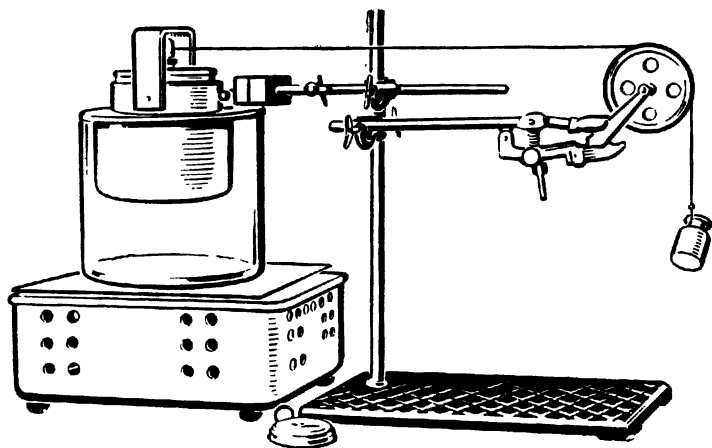


РИС. 17.



Для определения коэффициента теплопроводности металла можно воспользоваться соотношением

$$Q = k \frac{\Delta t}{l} S \tau,$$

где  $Q$  — количество теплоты, которое проходит через постоянное поперечное сечение тела (например, через поперечное сечение цилиндра);  $\Delta t$  — постоянная разность температур у оснований цилиндра;  $\tau$  — время, в течение которого прошло данное количество теплоты;  $k$  — коэффициент теплопроводности;  $l$  — длина цилиндра.

Если пользоваться этой формулой, то во время опыта необходимо поддерживать постоянной разность температур, в то время как через металл передается определенное количество теплоты. Такие условия можно осуществить, если у одного основания металлического цилиндра (у нижнего) будет конденсироваться пар, а у другого (у верхнего) — будет таять лед. Количество теплоты, которое пройдет от нижнего основания к верхнему, можно найти по количеству растаявшего льда. Тогда

$$\lambda m = k \frac{\Delta t}{l} S \tau, \quad \text{или}$$

$$k = \frac{\lambda m l}{S \tau \Delta t},$$

где  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда.

Все величины, входящие в формулу, можно найти опытным путем.

Для проведения опыта понадобится следующее оборудование (рис. 18): металлический цилиндр в пенопластовом кожухе  $A$ , штатив с принадлежностями, кипятильник с трубкой для отвода пара  $B$ , тарелка, в которую стекает вода, полученная из сконденсированного пара, кроме того, секундомер, штангенциркуль, весы, разновесы, куски тающего льда, стеклянный сосуд (100 мл).

Устройство основного прибора показано на рисунке 19. На металлический цилиндр  $b$  напрессовывается плексиглазовый стакан  $a$  так, чтобы основание цилиндра было дном

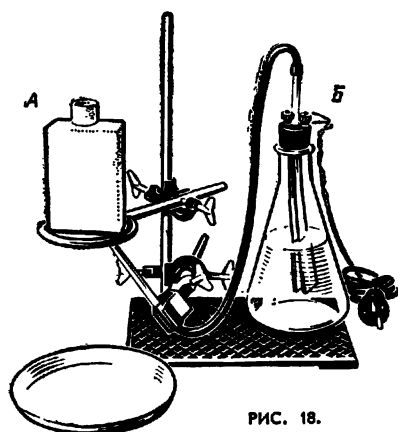


РИС. 18.

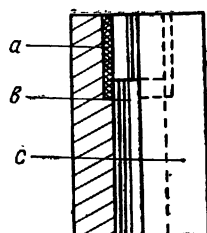


РИС. 19.

стакана. Цилиндр со стаканом заключают в пенопластовый кожух *c*, из которого они могут свободно выниматься.

### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 18. Включают кипятильник. Вынимают цилиндр из кожуха и определяют его диаметр и высоту.

2. Устанавливают на кольцо штатива цилиндр в кожухе. Наполняют стакан льдом. Направляют струю пара на нижнее основание цилиндра. По мере таяния льда воду выливают в тарелку и стакан вновь заполняют льдом. Это делают для того, чтобы установилось равномерное изменение температуры от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$  по всей длине цилиндра. Через 15 мин выливают воду, быстро заполняют стакан льдом, устанавливают его на кольцо и замечают время начала опыта.

3. Через 2—3 мин, прижав пальцем оставшийся лед, выливают воду из плексигласового стакана в сосуд. Не теряя времени, устанавливают прибор на кольцо и добавляют порцию льда. Переливание воды повторяют не менее пяти раз. Последнюю порцию воды выливают в сосуд через 10—15 мин после начала опыта. Определяют массу полученной воды.

По данным измерений можно подсчитать  $k$ . Например, для стали было получено:

$d=0,03 \text{ м}, l=0,085 \text{ м}, \Delta t=100^\circ\text{С}, \tau=600 \text{ сек}, m=60 \text{ г},$

$$k = 40 \frac{\text{вт}}{\text{м}\cdot\text{град}} \pm 6 \frac{\text{вт}}{\text{м}\cdot\text{град}}.$$

## РАБОТА № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА И ПЛОТНОСТИ ГАЗА

Для определения молекулярного веса газа можно применить уравнение Клапейрона — Менделеева.

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{\mu} R, \text{ откуда } \mu = \frac{mRT}{pV}.$$

Плотность же газа при нормальных условиях ( $P_0=760 \text{ мм рт. ст.}, T_0=273^\circ\text{К}$ )

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}, \text{ но } \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T},$$

$$V_0 = \frac{pVT_0}{\rho_0 T}, \text{ значит, } \rho_0 = \frac{p_0 T m}{p T_0 V}.$$

Итак, для определения искомых величин необходимо найти способы измерения массы  $m$ , объема  $V$  и давления газа  $p$  при определенной температуре  $T$ .

Это можно сделать с помощью установки, показанной на рисунках 20 и 21. Здесь  $A$  — компенсационный цилиндр со шкалой для отсчета объема жидкости;  $B$  — колба для сбора газа;  $B$  — прибор Вульфа, служащий для получения углекислого газа.

Компенсационный цилиндр представляет собой стеклянную трубу длиной 1,5 м, диаметром 6 см. У одного конца цилиндр имеет пробку со штуцером. На штуцер надевается резиновая трубка  $P$ , идущая к колбе (рис. 21, 1). Цилиндр удерживается за штуцер в лапке штатива. Верхняя часть цилиндра проходит через кольцо. Таким образом, цилиндр можно перемещать вверх и вниз вдоль штатива. По всей длине цилиндра имеется шкала с делениями 0,01 л.

Колба  $B$  объемом 3 л закрывается пробкой, имеющей два отверстия. Через одно отверстие проходит стеклянная трубка  $T$ , доходящая почти до дна колбы. На трубку  $T$  надевается резиновая трубка  $P$ . Во второе отверстие вставлена трубка с краном  $K$ . От нее резиновая трубка идет к прибору Вульфа  $B$ .

Чтобы собрать углекислый газ в колбе *Б*, поступают следующим образом. Отсоединяют от прибора Вульфа резиновую трубку. Открывают кран *К*. Наливают в цилиндр воду, а сам цилиндр поднимают вверх. Вода начинает заполнять колбу. Перемещением цилиндра вверх и вниз добиваются того, чтобы вода в колбе установилась около крана *К*. Кран закрывают. Замечают уровень воды в цилиндре.

В прибор Вульфа насыпают 20—25 г мрамора или известняка (вместо прибора Вульфа можно применить аппарат Киппа, с которым опыт проводить легче). Вливают 50 мл воды, а потом около 10 мл соляной кислоты. Приблизительно через минуту резиновую трубку, идущую от крана *К*, присоединяют к прибору Вульфа и сразу же открывают кран. Газ, вытесняя воду, начинает заполнять колбу. При этом вода перетекает в цилиндр. Давление газа в колбе не должно превышать атмосферное более чем на 30—40 см водяного столба, иначе кислота начнет через воронку выливаться из прибора Вульфа. Поэтому штатив с цилиндром ставят на пол. По мере заполнения газом колбы в прибор Вульфа через воронку раза два-три подливают по 10 мл кислоты.

Когда уровень воды в колбе не будет доходить до дна на 1—2 см, перекрывают кран *К*, отсоединяют прибор Вульфа и выставляют его в вытяжной шкаф. Замечают объем воды в компенсационном цилиндре. Разность между уровнями воды в цилиндре даст объем вытесненной воды или объем газа в колбе  $V_1$ , при давлении  $p_1 = p_a + p'$ , где  $p_a$  — атмосферное давление;  $p'$  — давление столба воды высотой  $h_1$  (рис. 21, II).

Далее опыт проводят в такой последовательности. Резиновую трубку, идущую от крана *К*, соединяют с волейбольной камерой, имеющей зажим Гофмана. Открывают зажим и кран, поднимают цилиндр. Вода из цилиндра перетекает в колбу, вытесняя газ в камеру. Перемещением цилиндра вверх и вниз добиваются того, чтобы уровень воды в колбе достиг первоначальной отметки. Перекрывают кран *К*, измеряют разность уровней воды в колбе и цилиндре  $h_2$  (рис. 21, III). В камере газ будет находиться под давлением  $p = p_a + p''$ , где  $p''$  — давление столба воды высотой  $h_2$ . Объем газа можно найти по закону Бойля — Мариотта:

$$V = \frac{p_1 V_1}{p}.$$

Атмосферное давление определяют по anerоиду, температуру — с помощью лабораторного термометра.

Остается определить массу газа, собранного в камере. Это делается с помощью лабораторных весов, на которые помещают камеру. При равновесии масса разновесов, очевидно, будет равна сумме масс газа и камеры за вычетом массы воздуха, создающего выталкивающую силу, т. е.  $m_1 = m + m_k - \rho' V_2$ , где  $m_1$  — масса разновесов,  $m_k$  — масса камеры,  $m$  — масса углекислого газа,  $\rho'$  — плотность вытесненного воздуха,  $V_2 = V + V'$ , где  $V'$  — объем камеры. Значит,  $m_1 = m + m_k - \rho' (V + V')$  (1).

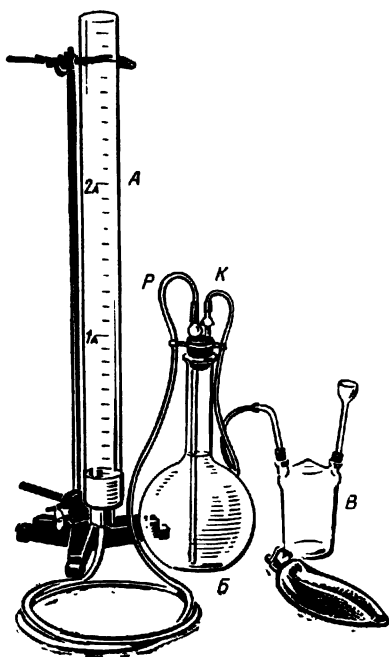


РИС. 20.

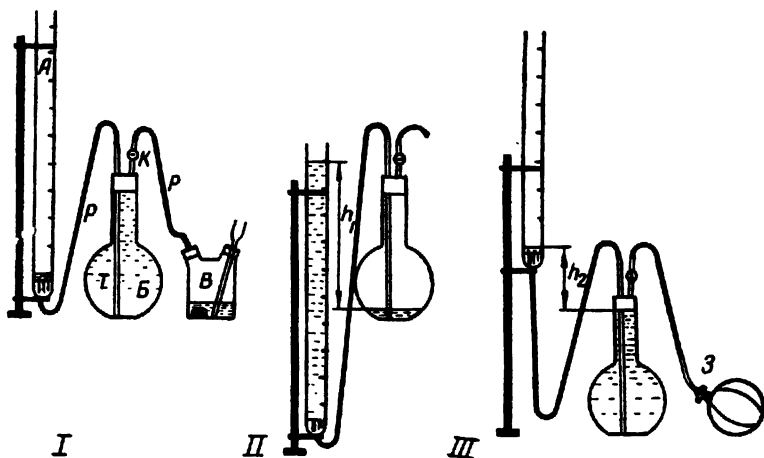


РИС. 21.

Выпустив углекислый газ, взвешивают пустую камеру. Масса разновесов в этом случае будет  $m_2 = m_k - \rho' V'$  (2). Решая уравнения (1) и (2) относительно  $m$ , получим:

$$m = m_1 - m_2 + \rho' V.$$

Пользуясь уравнением газового состояния, легко подсчитать плотность воздуха  $\rho'$  при давлении  $p_a$  и температуре  $T$ :  $\rho' = \rho'_0 \frac{p_a T_0}{p_0 T}$ , где  $\rho'_0$  — плотность воздуха при нормальных условиях ( $p_0, T_0$ ).

В одном из опытов были получены следующие результаты:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,290 \text{ м} \pm 0,005 \text{ м}, & p' &= \rho_1 g h_1 = 2,84 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}, \\ h_2 &= 0,450 \text{ м} \pm 0,005 \text{ м}, & p'' &= \rho_1 g h_2 = 4,41 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}, \\ p_a &= (757 \pm 1) \text{ мм рт. ст.}, & p_a &= 100,8 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}, \\ p_0 &= 760 \text{ мм рт. ст.}, & p_0 &= 101,3 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}, \\ T &= 294^\circ\text{К} \pm 1^\circ\text{К}, & T_0 &= 273^\circ\text{К}, \\ V_1 &= 2,80 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \pm & & \\ &\pm 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, & & \\ m_2 &= 126,33 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}, & & \\ m_1 &= 128,10 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}, & & \end{aligned}$$

$$\rho'_0 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad \rho_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$R = 8,32 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{град} \cdot \text{кмоль}}.$$

Относительная погрешность искомым величин будет порядка 5%.

Расчеты целесообразно вести в такой последовательности: 1. Подсчитывают давление газа в колбе  $p_1$  и в камере  $p$

$$p_1 = p_a + p', \quad p_1 = 103,6 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2},$$

$$p = p_a + p'', \quad p = 105,2 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}.$$

2. Находят объем газа в камере

$$V = \frac{p_1 V_1}{p}, \quad V = 2,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

3. Вычисляют плотность воздуха  $\rho'$  при давлении  $p_a$  и температуре  $T$ , а затем массу углекислого газа  $m$ :

$$\rho' = \rho'_0 \frac{p_a T_0}{p_0 T}, \quad \rho' = 1,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$m = m_1 - m_2 + \rho' V, \quad m = 5,06 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

4. Подсчитывают молекулярный вес  $\mu$  и плотность газа  $\rho_0$ :

$$\mu = \frac{mTR}{pV},$$

$$\mu = 43 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}},$$

$$\rho_0 = \frac{p_0 T m}{p T_0 V}.$$

$$\rho_0 = 1,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

В работе плотность воздуха  $\rho'_0$  считается известной величиной. Ее целесообразно определить до практикума, на уроке при решении экспериментальной задачи. При определении  $\rho_0$ , кроме рассмотренного оборудования, применяется насос Комовского и шар для взвешивания воздуха (выпускаемый промышленностью).

Опыт проводят в такой последовательности. Опускают компенсационный цилиндр *A* на пол. Открывают кран *K* и заполняют колбу *B* воздухом приблизительно на 0,8 объема. Замечают показания шкалы объемов на цилиндре. Выкачивают из шара воздух и определяют его массу. Соединяют шар с трубкой, идущей от крана *K*, и открывают зажим Гофмана на шаре. Воздух устремляется в шар. Перемещением компенсационного цилиндра (или колбы *B*) добиваются положения, при котором уровень воды в колбе и в цилиндре будет одинаков (в этом случае давление воздуха в шаре будет равно атмосферному). Замечают новое показание шкалы объемов на цилиндре. Разность показаний шкалы даст объем вошедшего в шар воздуха  $V'$ . Определяют массу шара с воздухом и подсчитывают массу вошедшего воздуха  $m'$  (масса вошедшего водяного пара существенного влияния на результаты опыта не оказывает).

По приборам определяют температуру воздуха  $T'$  и атмосферное давление  $p'$ .

При решении экспериментальной задачи возможны следующие результаты:

$$V' = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$\rho'_0 = \frac{p_0 T' m'}{p' T_0 V'},$$

$$m' = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ кг},$$

$$\rho'_0 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$p' = 754 \text{ мм рт. ст.},$$

$$T = 297^\circ \text{К},$$

$$p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.},$$

$$T_0 = 273^\circ \text{К},$$

Число Авогадро в школьных условиях можно определять различными способами. Можно воспользоваться формулой Эйнштейна

$$x^2 = \frac{Rt}{3\pi\eta rN},$$

где  $x$  — средняя величина проекции перемещения броуновской частицы на любую ось,  $t$  — время наблюдения за движением частицы,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — абсолютная температура эмульсии,  $\eta$  — вязкость воды,  $r$  — радиус броуновской частицы,  $N$  — число Авогадро.

Для проведения опыта потребуется следующее оборудование (рис. 22): биологический микроскоп  $A$ , осветитель  $B$ , кювета  $B$ , лабораторное зеркало, укрепленное на штативе  $\Gamma$ , дифракционная решетка ( $1/50$  или  $1/100$ , на пленке), предметные и покровные стекла, пробирка со взвешенными частицами краски в воде, кисть, а также остро заточенный карандаш, линейка, лист чистой бумаги.

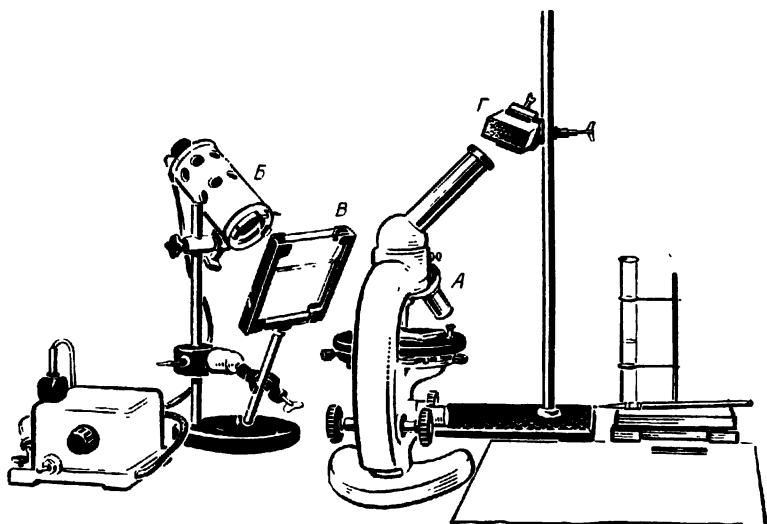


РИС. 22.



Опыт проводят в затемненном помещении. Установка, показанная на рисунке 22, дает возможность определить  $r$  и  $x$ . Для предотвращения нагревания эмульсии в кювету  $B$  наливают воду. Кювету укрепляют на штативе осветителя и располагают осветитель возможно ближе к микроскопу. Включив осветитель, перемещением патрона с лампочкой вдоль оси и поворотом зеркала микроскопа добиваются равномерной и наибольшей освещенности поля бумаги при окуляре  $15\times$  и объективе  $40\times$  (при постановке опыта конденсор микроскопа должен быть поднят в самое высокое положение).

Чтобы определить увеличение микроскопа, применяют дифракционную решетку. Поместив решетку под объектив, фокусируют ее штрихи на бумагу, отмечают 8—10 штрихов (при решетке  $1/50$  это занимает все освещенное поле). Штрихи наблюдаются четче при небольшом отверстии диафрагмы конденсора микроскопа. Расстояние между крайними штрихами измеряют линейкой. Этим данным достаточно для подсчета увеличения микроскопа.

Препарат для наблюдения броуновского движения можно приготовить следующим образом. В пробирку наливают чистой воды, берут небольшой кистью ультрамарин (акварельные краски «Нева» в тюбиках) и разбавляют его в воде, тщательно размешивая. Затем дают отстояться 2—3 мин и наносят кистью каплю из середины раствора на предметное стекло. Прикрывают покровным стеклом, и препарат готов.

Для проведения опыта удобно выбирать частицы, которые в проекции кажутся размером в 2 мм. Вначале нужно при помощи линейки с миллиметровыми делениями (а лучше миллиметровой сетки, нанесенной на плексигласовую пластинку) установить, какие частицы кажутся размером в 2 мм с учетом полутени. Измерение десятка частиц уже дает некоторый навык в определении диаметра частицы без линейки. Собственно только теперь начинают опыт.

Выбирают одну подвижную частицу диаметром приблизительно 2 мм (при некотором навыке можно следить одновременно за двумя близко расположенными частицами). Ставят карандашом крестик в месте расположения частицы и по секундной стрелке замечают момент начала наблюдения за данной частицей. Через минуту ставят крестик в новом положении частицы. Оба крестика соединяют линией,

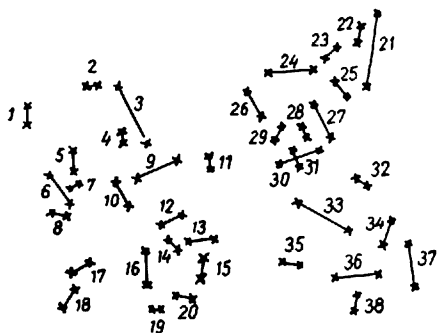


рис. 23.

проведенной от руки. Далее можно вести наблюдения за этой же частицей, а можно выбрать другую. Чем больше будет рассмотрено частиц, тем точнее получится результат.

Иногда в первый момент наблюдения можно заметить дрейф частиц, т. е. их движение в одну сторону.

В этом случае нужно подождать, пока окончится дрейф.

В одном из опытов была получена картина, показанная на рисунке 23. При обработке результатов опыта чертежу каждой частицы придают номер, что устраняет путаницу. Затем накладывают миллиметровую сетку и находят проекции на ось  $x$  и ось  $y$  занумерованных отрезков, находят среднее арифметическое этих проекций, что и даст среднюю величину проекции перемещения броуновской частицы за время  $t$ .

По данным рисунка 23 были получены следующие результаты:

$x$  — 2, 3, 9, 2, 3, 4, 5, 1, 0, 2, 7, 1, 9, 1, 0, 2, 3, 12, 9, 1, 4, 6, 5, 3, 0, 3, 4, 13, 2, 7, 2, 2, 0, 5, 2, 5, 3, 1;

$y$  — 17, 7, 18, 4, 3, 3, 4, 3, 8, 1, 1, 3, 1, 2, 1, 3, 8, 8, 2, 2, 3, 4, 3, 9, 2, 0, 11, 15, 11, 0, 7, 0, 8, 2, 5, 5, 7;

$x = 4,5$  мм (на экране).

При определении увеличения микроскопа была взята решетка  $\frac{1}{50}$ . Девять видимых делений укладывались на длине 162 мм. Таким образом, увеличение  $k = \frac{162 \cdot 50}{9} =$

$$= 900, \quad r = \frac{1}{900} \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad x = \frac{4,5}{900} 10^{-3} \text{ м},$$

$$R = 8,3 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{град}},$$

$$N = \frac{RTt}{3\pi\eta r x^2}, \quad T = 300^\circ \text{ К}, \quad t = 60 \text{ сек},$$

$$\eta = 0,09 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}}, \quad N = 6 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}.$$

Вязкость при данной температуре определяют по гра-  
фику, который строится на основании данных из справоч-  
ника.

Число Авогадро можно определить по растеканию капли  
олеиновой кислоты на поверхности воды. Чтобы получить  
возможно более тонкую пленку в небольшом сосуде, следу-  
ет использовать каплю разбавленного раствора олеиновой  
кислоты в спирте. Отмеряют  $5 \text{ см}^3$  олеиновой кислоты и  
 $95 \text{ см}^3$  спирта, смешивают их и хорошо взбалтывают. Затем  
отмеряют  $5 \text{ см}^3$  этого раствора и смешивают с  $45 \text{ см}^3$  спир-  
та. Наполняют водой большой, чистый, неглубокий поднос  
на высоту 1—2 см. Посыпают слегка поверхность воды по-  
рошком мела или ликоподия, чтобы сделать пленку ви-  
димой (для получения порошка мела следует использовать  
наждачную бумагу).

Опыт можно проводить в такой последовательности. С  
помощью глазной пипетки капают одну каплю раствора  
олеиновой кислоты в спирте на поверхность воды, покрытой  
порошком ликоподия. Измеряют средний диаметр образо-  
вавшейся площади пленки. Затем, пользуясь бюреткой, оп-  
ределяют, сколько капель такой же величины содержится  
в  $1 \text{ см}^3$ . Это дает возможность определить объем одной кап-  
ли, а по площади растекания и по объему олеиновой кис-  
лоты в капле подсчитать толщину мономолекулярного слоя  
и диаметр молекул.

Пусть  $V$  — объем капли олеиновой кислоты,  $S$  — пло-  
щадь поверхности капли на воде, тогда толщина слоя ( $d$  —  
диаметр молекул) будет  $d = \frac{V}{S}$ .

Объем одной молекулы  $u = \frac{d^3}{6}$ , или  $u = \frac{\pi V^3}{6S^3}$ .

Объем одного киломоля будет  $u_\mu = uN = \frac{\pi V^3 N}{6S^3}$ , а мас-  
са киломоля  $\mu = \frac{\pi \rho V^3 N}{6S^3}$ . Из этого уравнения находит-  
ся число Авогадро  $N = \frac{6\mu S^3}{\pi \rho V^3}$ .

Плотность олеиновой кислоты  $0,89 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , молеку-  
лярный вес 282.

Возможны такие результаты:

$V = 3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3$ ,  $d = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ,  $S = 150 \text{ см}^2$ ,  $N = 0,8 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$ .

Известно, что хаотическое движение молекул можно смоделировать, если заставить беспорядочно двигаться шарики в камере, размеры которой велики по сравнению с размерами шариков, и если число шариков невелико. Это наводит на мысль, что некоторые закономерности движения молекул можно изучить на движениях шариков. Используя идею опыта Штерна, можно построить кривую распределения скоростей шариков и сравнить ее с кривой распределения Максвелла.

Допустим, что у нас имеется камера, в которой хаотически движутся шарики. Пусть сбоку в камере имеется отверстие, через которое могут вылетать шарики. Поместим камеру на какой-то высоте  $h$  относительно листа бумаги (рис. 24, *а* — вид сбоку, *б* — вид сверху). Тогда вылетающие шарики будут ударяться о лист бумаги на разных расстояниях  $s$ , так как они имеют разные скорости. Можно подобрать способ, который позволит отмечать места ударов шариков. Значит, можно подсчитать скорость вылета каждого шарика, так как путь в горизонтальном направлении пропорционален скорости. Время же падения одинаково для всех шариков и определяется из формулы пути свободного падения.

Поскольку скорость каждого шарика — величина случайная, то, очевидно, следует найти 10—15 интервалов возможных скоростей и определить долю шариков, имеющих скорости, заключенные в данных интервалах. Это даст возможность проследить закономерность распределения скоростей.

Для выполнения опытов применяется механическая модель опыта Штерна. Устройство модели показано на рисунке 25. На пластмассовом основании размером  $90 \times 90$  мм монтируется согнутая в виде дуги диаметром 70—80 мм стальная пластинчатая пружина *а* (от настенных часов). Концы пружины наглухо закрепляются в прорезях стоек *б*. Сами же стойки привертываются к основанию так, чтобы между ними было расстояние порядка 7 мм (рис. 25, *А* — вид спереди, *Б* — вид сверху). В углах основания просверлены отверстия, через которые пропущены стяжные болты.

Сверху на болты надевается плексигласовая крышка. Между крышкой и основанием оставляют расстояние на 2—2,5 мм больше ширины пружины. В крышке имеется отверстие  $s$ , через которое в камеру опускают шарики.

Для приведения стенок камеры в колебательное движение служит резонансное устройство, которое состоит из электромагнита  $d$  и молоточка  $e$ . Сердечником электромагнита служит набор Ш-образного трансформаторного железа сечением  $20 \times 20$  мм. Катушка наматывается проводом ПЭЛ-0,35 внавал до заполнения. Молоточек изготавливают из пластинчатой пружины. На конце стальной пружины укрепляют стальной болтик с гайкой и контргайкой. Другой конец пружины закрепляют между пластинами и удерживают винтом  $f$ . Отпустив винт  $f$ , можно менять длину молоточка. При соответствующем подборе длины молоточка и упругости его пружины можно добиться такого положения, что частота собственных колебаний молоточка будет около 100 гц. Резонансное устройство с помощью алюминиевого уголка прикрепляют к камере. При этом молоточек располагается на расстоянии 4—5 мм от круговой пружины камеры.

Если подключать обмотку электромагнита к цепи переменного тока, то моло-

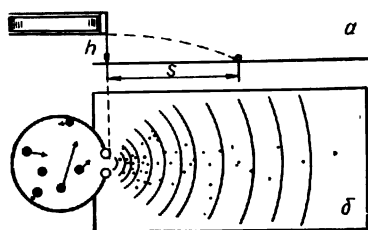


РИС. 24.

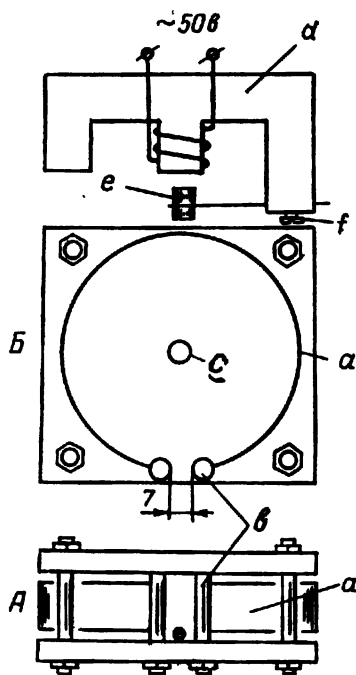


РИС. 25.

точек, настроенный в резонанс, начинает совершать колебания с большой амплитудой и ударять при этом о борт пружинящей камеры. Колеблющаяся круговая пружина вызывает хаотическое движение шариков, находящихся в камере, и некоторые из них начинают вылетать из камеры. При этом скорость вылетающих шариков оказывается различной.

Для проведения опыта понадобится следующее оборудование: механическая модель опыта Штерна, шесть шариков диаметром 3—4 мм, лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), штатив с принадлежностями, алюминиевый или фанерный поднос с бортиками размером приблизительно 40×40 см, лист чистой бумаги размером 30×20 см, отвес, линейка, циркуль, копировальная бумага.

### Ход работы

1. Укрепляют механическую модель в лапке штатива на высоте 0,6—0,8 м (рис. 26). Основание модели располагают горизонтально или слегка наклоняют в сторону резонансного устройства. На поднос кладут лист белой бумаги, который сверху прикрывают копировальной бумагой, и закрепляют грузами или кнопками. К середине отверстия камеры подносят отвес. Заостренным концом отвеса делают стметку на бумаге.

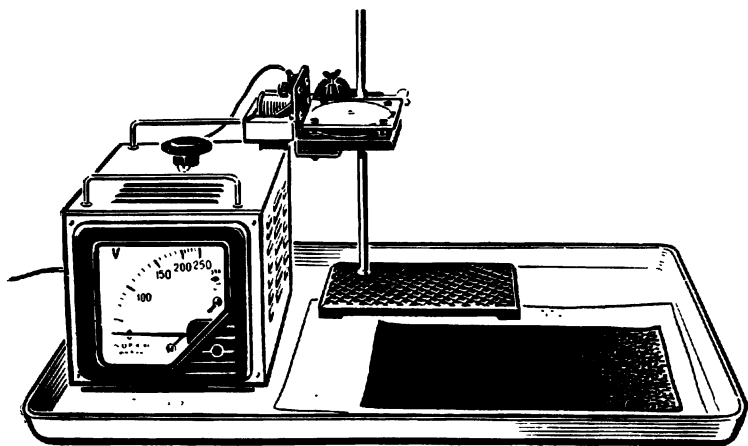


РИС. 26.

2. Заполняют камеру шестью шариками. Включают трансформатор в сеть и устанавливают напряжение 40—50 в (такое напряжение практически безопасно при выполнении работы). Подключают к трансформатору резонансное устройство. По мере вылетания шариков из камеры в нее все время добавляют новые шарики и таким образом поддерживают внутри камеры число шариков равным шести. Через 30—40 мин резонансное устройство отключают. При этом на бумаге остается более 200 следов ударов шариков.

3. Устанавливают иглу циркуля в место отметки, полученной с помощью отвеса. Проводят дугу вблизи следа шарика, вылетевшего с наименьшей скоростью. Проводят еще 6—7 дуг, отстоящих друг от друга на расстоянии 5 мм. Далее следы идут реже, поэтому вычерчивают 3—4 дуги, отстоящие друг от друга на расстоянии 10 мм. Последующие дуги проводят через 2 см, так как там еще реже встречаются следы от ударов. Последнюю дугу проводят где-то около последних следов. В общей сложности получается около 15 полосок между дугами.

Подсчитывают число следов на каждой полосе и записывают это число на краю полосы.

4. По формуле  $v = s \sqrt{\frac{g}{2h}}$  подсчитывают скорости, с которыми шарики должны вылетать, чтобы долететь до определенной дуги ( $s$  — дальность полета,  $h$  — высота, на которой укреплен камера). Значения этих скоростей заносят в таблицу.

Подсчитывают число частиц, приходящихся на одинаковые интервалы скоростей. Иначе говоря, на узких пяти-миллиметровых полосках оставляют число частиц прежним; для десяти-миллиметровых полосок число частиц делят пополам, а для 20-миллиметровых — на четыре.

Возможна такая таблица:

$s, \text{ см}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$v, \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12
Число частиц	10	23	40	50	36	34	

4	5	6	7	8	10	12	14	16
12	15	18	21	24	30	36	42	48
27	25	11	9	8	5	2	2	

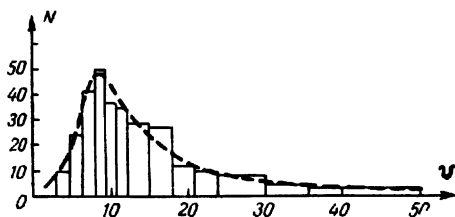


РИС. 27.

По данным таблицы строят график (рис. 27).

В предлагаемом варианте лабораторной работы можно изменять напряжение в пределах 30—60 в. Это изменяет среднюю скорость движения шариков, что моделирует изменение средней кинетической энергии молекул.

Можно наблюдать изменения средней скорости шариков при замене одних шариков другими, с другой массой.





Некоторые величины, характеризующие магнитное поле, можно изучать методом колебаний. Если поместить лабораторную магнитную стрелку (или компас) в магнитное поле с напряженностью  $H$ , то, прежде чем установиться вдоль магнитной силовой линии, стрелка совершит несколько колебаний. Оказывается, что период колебаний зависит от напряженности поля. Для проверки этой зависимости можно стрелку расположить внутри цилиндрической катушки, для которой  $H = k_1 I$ , где  $I$  — сила тока в катушке,  $H$  — напряженность магнитного поля,  $k_1$  — коэффициент, зависящий от размеров катушки и от числа витков. Изменяя ток (а тем самым и напряженность поля внутри катушки), легко убедиться, что период колебаний стрелки будет тем меньше, чем больше сила тока. Если при нескольких фиксированных значениях тока  $I_1, I_2, I_3$  и т. д. найти соответствующие периоды  $T_1, T_2, T_3$  и т. д., то оказывается, что  $I_1 T_1^2 = I_2 T_2^2 = I_3 T_3^2 = \dots$ , а так как  $H = k_1 I$ , то очевидно  $H_1 T_1^2 = H_2 T_2^2 = H_3 T_3^2 = \dots = k_1$ . Иначе это запишется так:

$$H = \frac{k_1}{T^2}, \text{ или } H \sim \frac{1}{T^2}.$$

Итак, по периодам колебаний стрелки можно изучать характер магнитного поля. Целью работы является построение графиков зависимости напряженности поля от силы тока и от расстояния точек поля, расположенных на оси, до середины катушки.

Для проведения опытов потребуется следующее оборудование (рис. 28): цилиндрическая катушка, магнитная стрелка, реостат (10 ом), амперметр (2 а), секундомер, линейка, аккумулятор, ключ, провода.

Цилиндрическую катушку наматывают виток к витку в три ряда. Каркас длиной 110 мм и внутренним диаметром 51 мм вытачивают из пластмассовой трубки. Для катушки можно взять провод диаметром 0,5—0,7 мм, таким образом

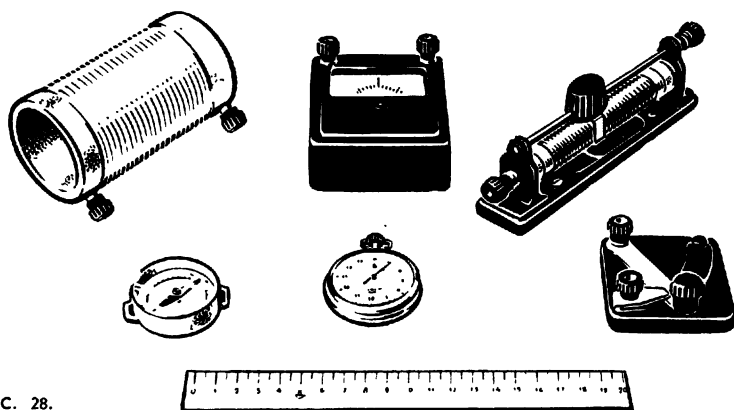


РИС. 28.

катушка будет содержать 350—400 витков. Длина намотки 90 мм.

### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 29. Магнитную стрелку помещают внутрь катушки. Замыкают ключ и устанавливают силу тока 0,2 а. Определяют при этой силе тока период колебаний стрелки. Чтобы при проведении опыта точнее включать секундомер с момента начала отсчета времени, при каждом отклонении стрелки, допустим, вправо в такт с этим отклонением повторяют «ноль, ноль, ноль...». В какой-то момент под команду «ноль» включают секундомер. Последующие отклонения стрелки вправо сопровождаются счетом «один, два, три» и т. д. Так отсчитывают 10—50 колебаний. При последнем счете секундомер останавливают. Зная время  $t$  и число колебаний  $n$ , легко определить период по формуле

$$T = \frac{t}{n}.$$

При данной силе тока определяют период не менее пяти раз. Среднее значение записывают в таблицу № 1.

2. Определяют период колебаний стрелки при

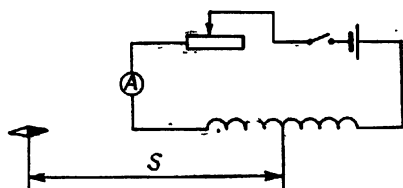


РИС. 29.

других значениях тока и записывают его в таблицу.

Подсчитывают квадрат периода и величину, обратную квадрату периода, и тоже заносят в таблицу. По данным таблицы строят график зависимости  $\frac{1}{T^2}$  от  $I$ , который будет аналогичен графику зависимости  $H$  от  $I$  (рис. 30).

3. Исследуют зависимость напряженности магнитного поля от расстояния  $s$  вдоль оси катушки при постоянном токе, пользуясь методом колебаний магнитной стрелки. Составляют таблицу № 2. В первом столбце указывают расстояние от середины катушки до исследуемой точки поля вдоль оси катушки. По данным таблицы строят график (рис. 31).

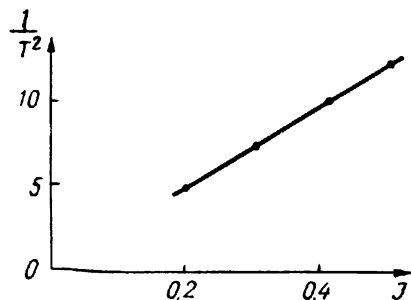


рис. 30.

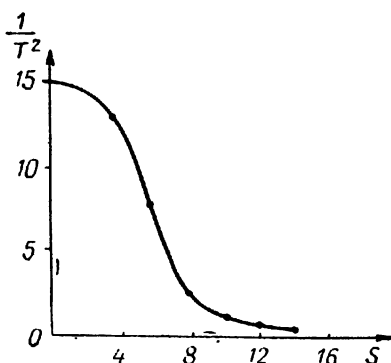


рис. 31.

Таблица 1

$s=3,5 \text{ см}$					
$I, \text{ а}$	$n$	$t, \text{ сек}$	$T, \text{ сек}$	$T^2$	$\frac{1}{T^2}$
0,2	40	17,5	0,438	0,192	5,2
0,3	40	14,3	0,354	0,126	7,9
0,4	40	12,5	0,312	0,097	10,3
0,5	40	10,9	0,272	0,077	13

$I=0,5 \text{ а}$					
$s, \text{ см}$	$n$	$t, \text{ сек}$	$T, \text{ сек}$	$T^2$	$\frac{1}{T^2}$
0	50	13	0,26	0,068	15
3,5	50	14	0,28	0,078	13
5,5	50	18	0,36	0,13	7,7
8	20	13	0,65	0,42	2,4
10	10	10	1	1	1
12	10	13	1,3	1,7	0,59
14	10	16	1,6	2,55	0,39

РАБОТА №

12

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ, ИНДУКТИВНОСТИ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МОСТОВЫМ МЕТОДОМ

Пусть нужно определить относительную диэлектрическую проницаемость вещества. Воспользуемся конденсатором, состоящим из двух пластин. Если между пластинами конденсатора нет диэлектрика, то емкость конденсатора в системе СИ  $C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ , где  $S$  — площадь пластин,  $d$  — расстояние между пластинами,  $\epsilon_0$  — диэлектрическая постоянная. Для случая с диэлектриком  $C_2 = \frac{\epsilon S}{d}$ , где  $\epsilon = \epsilon' \epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость среды. Возьмем отношение емкостей:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon'$$

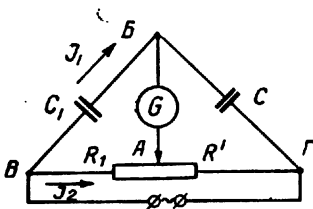


РИС. 32.

Таким образом, для определения величины  $\epsilon'$  нужно найти отношение емкостей, что можно сделать, воспользовавшись мостовым методом (рис. 32). Если перемещением ползунка реохорда добиться положения, при котором ток через гальванометр не течет или

в телефонах не слышен сигнал, т. е.  $I_0=0$ , то можно написать следующее соотношение:

$$\frac{1}{\omega C_1} I_1 = R_1 I_2, \quad \frac{1}{\omega C} I_1 = R' I_2, \quad \text{где}$$

$\omega$  — угловая частота;  $C_1$  — емкость конденсатора без диэлектрика;  $C$  — емкость конденсатора, близкая к исследуемой емкости;  $I_1, I_2, R_1, R'$  понятны из чертежа. Поделив почленно равенства, получим:

$$\frac{C}{C_1} = \frac{R_1}{R'}. \quad (1)$$

Если заменить конденсатор без диэлектрика  $C$  конденсатором таких же размеров с диэлектриком  $C_2$ , то получим (при новом положении движка потенциометра):

$$\frac{C}{C_2} = \frac{R_2}{R''}. \quad (2)$$

Найдем отношение равенств (1) и (2):

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{R_1 R''}{R' R_2}, \quad \text{но} \quad \frac{C_2}{C_1} = \varepsilon', \quad \text{значит,}$$

$$\varepsilon' = \frac{R_1 R''}{R' R_2}.$$

Так как  $R = \rho \frac{l}{S}$ , а  $\rho$  и  $S$  будут одинаковыми по всей длине реохорда, то окончательно запишем:

$$\varepsilon' = \frac{l_1 l''}{l_2 l'}.$$

В этой работе применяется следующее оборудование (рис. 33): лабораторный звуковой генератор  $A$ , лабораторный усилитель  $B$ , кювета-конденсатор  $B$ , катушки  $\Gamma, Д$ , реохорд, конденсатор постоянной емкости (150 пкф), головные телефоны, бензол (можно керосин), воронка, плексигласовая пластинка по размерам кюветы-конденсатора, ферритовый или стальной стержень длиной 20 мм диаметром 5 мм, штангенциркуль, кроме того, аккумулятор, ключ провода.

### Описание приборов

Лабораторный звуковой генератор собран по схеме с трансформаторной обратной связью (рис. 34). На текстолитовой пластине размером 90×60 мм смонтированы зажимы для

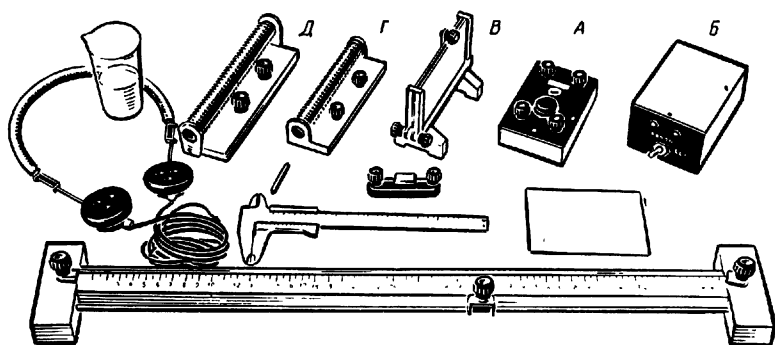


РИС. 33.

подвода питания (4 в), зажимы выхода, транзистор и катушка с тремя обмотками. Катушка изготовлена следующим образом. Два текстолитовых бортика в виде дисков диаметром 40 мм укреплены на концах стального стержня длиной 20 мм и диаметром 5 мм. Между стальным стержнем и обмоткой  $L_1$ , а также между обмотками  $L_1$  и  $L_2$ ,  $L_2$  и  $L_3$  проложена изоляционная бумага. Обмотки намотаны проводом ПЭЛ-0,4. Детали звукового генератора закрыты крышкой из жести. Потребляемая генератором мощность около 1 вт. При изменении в небольших пределах напряжения питания (3—5 в) частота генератора практически не меняется (2,4 кГц).

Лабораторный усилитель предназначен для усиления переменных токов звуковой частоты. В схеме усилителя применены транзисторы с коэффициентом усиления по току порядка 40 (рис. 35). Прибор смонтирован на Н-образном пластмассовом шасси. На передней стенке укреплены гнезда выхода и выключатель, на задней — гнезда входа. Шасси помещается в алюминиевый корпус размером  $95 \times 65 \times 45$  мм. Для питания применяются батареи КБС (напряжение 3,5 в, потребляемый ток 2 ма).

Кювета-конденсатор склеена из алюминиевых пластин и оргстекла. Размеры пластин  $100 \times 50 \times 2$  мм. В боковых стойках из оргстекла сделаны пазы, в которые вставлены пластины, приклеенные клеем БФ. К выступам пластин привинчены зажимы. Расстояние между пластинами 4 мм. В стойках имеются пазы для подвижной пластины. Когда

подвижная пластина введена в кювету, то расстояние между пластинами будет 1 мм.

Катушки Г и Д намотаны проводом ПЭЛ-0,75 и ПЭЛ-0,5 на каркасы из оргстекла длиной 150 мм и 120 мм, диаметром 18 мм и 14 мм. Концы обмоток выведены на зажимы.

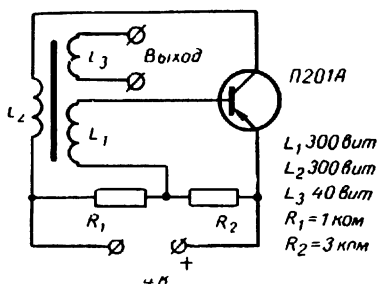


РИС. 34.

### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 36. Перемещением ползунка реохорда добиваются отсутствия звука в головных телефонах. Записывают значения  $l_1$  и  $l'$ . Отводят ползунок в какую-нибудь сторону и вновь добиваются отсутствия звука. Новые данные заносят в таблицу. Опыт проделывают не менее пяти раз.

2. Наливают в кювету исследуемую жидкость (или вставляют пластинку из исследуемого материала): Проделывают опыты по пункту 1.

Возможны такие результаты для бензола.

$l = 50,0 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$  — длина реохорда.

Длина провода реохорда в цепи, параллельной емкости исследуемого конденсатора (в см):

без диэлектрика — 24, 24, 24,1 24,1, 24,

с диэлектриком — 14,5, 14,6, 14,6, 14,5, 14,5,

$l_1 = 24 \text{ см}$ ,  $l' = 26 \text{ см}$ ,  $l_2 = 14,5 \text{ см}$ ,  $l'' = 35,5 \text{ см}$ .

Относительная погрешность искомой величины будет порядка 2%.

$$\epsilon' = 2,26 \pm 0,05.$$

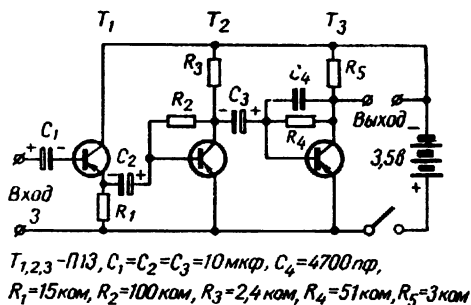


РИС. 35.

Аналогичные рассуждения можно провести, определяя индуктивность. Прежде напомним, что э. д. с. индукции

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \text{ или}$$

$$E = - L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где  $\Delta\Phi = L\Delta I$ , причем  $\Delta\Phi$  — изменение магнитного потока,  $\Delta I$  — изменение тока,  $\Delta t$  — время изменения тока,  $L$  — индуктивность катушки.

С другой стороны, для катушки магнитный поток  $\Phi = BSN$ , где  $B$  — магнитная индукция поля в катушке,  $S$  — поперечное сечение катушки,  $N$  — число витков. Приравнивая правые части последних равенств, получим:

$$LI = BSN, \text{ откуда } L = \frac{BSN}{l}.$$

Для катушки, длина которой  $l$  превышает диаметр более чем в 10 раз, можно записать:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}, \mu_0 \text{ — магнитная проницаемость вакуума.}$$

Тогда  $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$ , или  $L = \frac{\mu_0 \pi r^2 N^2}{l}$ , где  $r$  — радиус витков катушки.

Заменив в мостовой схеме конденсаторы катушками, запишем для случая, когда через индикатор не течет ток:

$$I_1 \cdot \sqrt{(\omega L_1)^2 + (R')^2} = R_1 I_2,$$

$$I_1 \cdot \sqrt{(\omega L_2)^2 + (R'')^2} = R_2 I_2,$$

где  $\omega$  — угловая частота,  $L_1$  — индуктивность первой катушки (допустим, исследуемой),  $L_2$  — индуктивность второй катушки,  $R'$  и  $R''$  — сопротивления обмоток катушек,  $R_1$  и  $R_2$  — сопротивления плеч реохорда,  $I_1$  — ток, проходящий через катушки индуктивности,  $I_2$  — ток, проходящий через реохорд.

Так как катушки можно сделать из толстого медного провода, то  $\omega L_1 \gg R'$ ,  $\omega L_2 \gg R''$ . Пренебрегая сопротивлениями  $R'$  и  $R''$  и беря отношение равенств, получим:

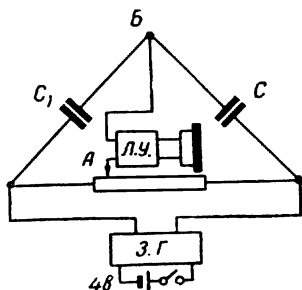


рис. 36.



$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1}{R_2}$ . Учитывая, что  $R_1 = \rho \frac{l_1}{S}$ ,  $R_2 = \rho \frac{l_2}{S}$ , можно записать:  $\frac{L_1}{L_2} = \frac{l_1}{l_2}$ , тогда  $L_1 = \frac{l_1}{l_2} L_2$ .

Пусть требуется определить индуктивность катушки  $L_1$  с введенным ферритовым сердечником. Тогда, учитывая, что индуктивность катушки без сердечника  $L_2 = \frac{\mu_0 \pi r^2 N^2}{l}$ , можно подсчитать значение  $L_1$  по формуле:

$$L_1 = \frac{l_1}{l_2} \frac{\mu_0 \pi r^2 N^2}{l}$$

Все величины, стоящие справа от знака равенства, находятся непосредственным измерением.

Для проведения опыта в схему вместо конденсаторов включают катушки. В исследуемую катушку во время опыта вводят ферритовый стержень.

## РАБОТА № 13 | ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

В результате проведения этой работы нужно решить такие задачи: изучить зависимость к.п.д. трансформатора от нагрузки; рассчитать число витков вторичной обмотки для данного потребителя.

Для проведения опытов в работе применяется разборный трансформатор (рис. 37). Сердечник трансформатора

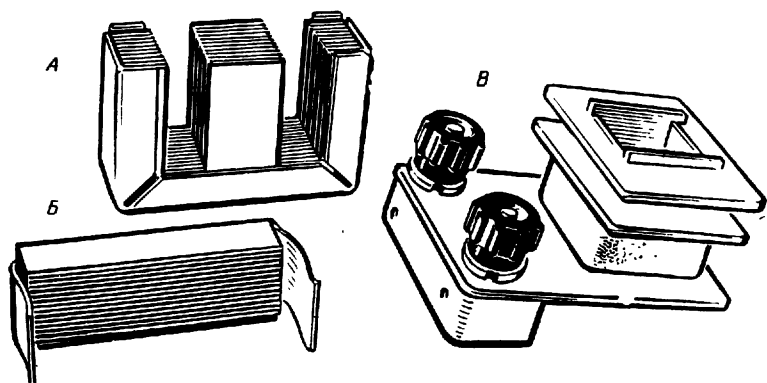
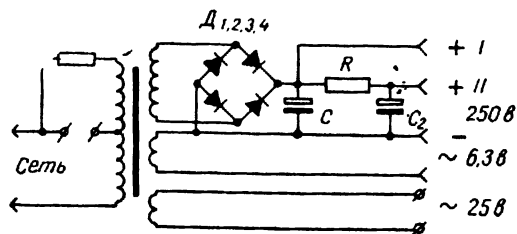


РИС. 37.

А сечением  $16 \times 16$  мм удерживается в обойме. Для замыкания магнитной цепи служит перемычка Б. Она набрана из трансформаторного железа и помещена тоже в обойму, которая имеет бортики для удобства крепления с сердечником. Каркас для обмоток В изготовлен из текстолита. Первичная обмотка, рассчитанная на напряжение 25 в, содержит 1000 витков провода ПЭЛ-0,13, намотанного внавал. Концы обмотки выведены на зажимы. Без железного сердечника первичную обмотку можно кратковременно (3—4 мин) подключать к источнику переменного напряжения 25 в. Для вторичной обмотки оставлена часть каркаса. Эту обмотку наматывают в процессе изучения принципа действия трансформатора.

Напряжение переменного тока берется от блока питания. Этот блок служит для обеспечения энергией соответствующего напряжения целого ряда приборов, входящих в оборудование работ практикума. Он собран на базе трансформатора мощностью 30 вт (рис. 38). В выпрямительном мостике могут быть применены как диоды Д7Ж, так и пакет селеновых выпрямителей АВС-80-260. Детали блока питания смонтированы в алюминиевом корпусе размером  $140 \times 90 \times 60$  мм (рис. 39). Выводы высокого напряжения (I, II), а также выводы напряжения накала 6,3 в смонтированы в наконечнике А (панель восьмиштырьковой лампы в обрезанном осветительном патроне). С вывода I анодное напряжение подается на генератор высокочастотных колебаний; с вывода II — на электроннолучевую трубку, ее блоки и пр. Напряжение 25 в выведено на зажимы Б.

Блок питания может работать от сети 127 и 220 в. Для переключения сети предохранитель вставляется в соседнее гнездо В. Сетевой шнур Г с одной стороны имеет гнезда для подключения к блоку питания, с другой — вилку.



$D_{1,2,3,4}$  - Д7Ж,  $R=3\text{ком}$ ,  $C_1=C_2=10,0 \times 250\text{в}$

РИС. 38.

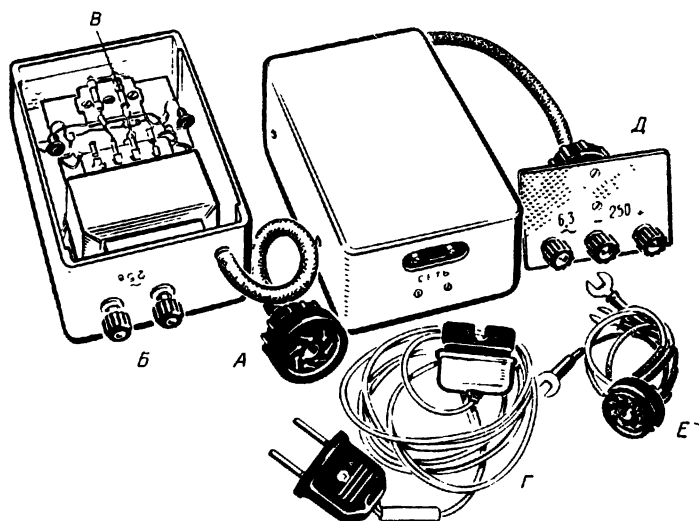


РИС. 39.

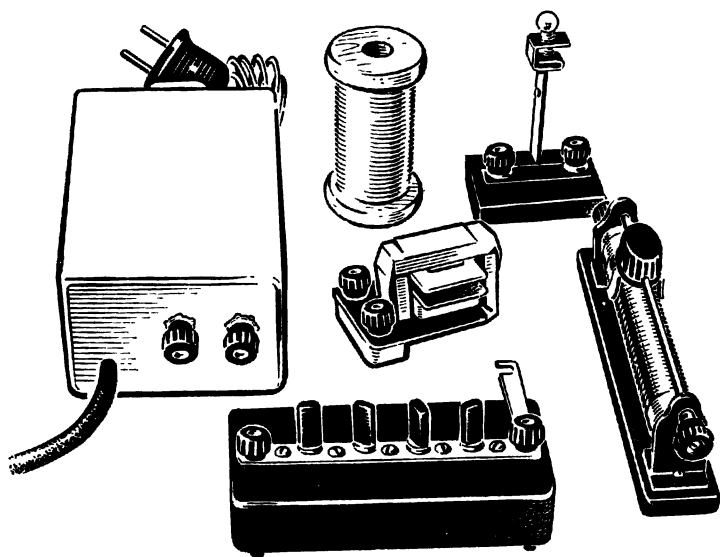


РИС. 40.

Переходная колодка *Д* и фишка *Е* предназначены для удобства подключения к блоку питания потребителей, когда необходимо сделать разрыв в цепи анода или накала.

Для изучения работы трансформатора потребуется следующее оборудование (рис. 40): лабораторный трансформатор, блок питания, провод ПЭЛ-0,25 на катушке, реостат (10 ом), магазин сопротивлений (лабораторный), лампа на стойке (2,5 в), кроме того, авометры (2 шт.), провода.

### Ход работы

1. Сняв каркас с сердечника трансформатора, наматывают на него 100—200 витков провода ПЭЛ-0,25. Выводы провода пропускают через отверстия в бортике каркаса. Зачищают концы выводов и собирают трансформатор. Подключают первичную обмотку трансформатора к зажимам 25 в блока питания. Измеряют авометром напряжение на вторичной обмотке.

2. Собирают цепь по рисунку 41. К точкам *В* и *Г* подключают реостат и авометр (как вольтметр). Вторым авометром измеряют напряжение на первичной обмотке, подключив его к точкам *АБ*. Замечают, что при перемещении движка реостата напряжение на *АБ* практически остается постоянным, а на *ВГ* изменяется от какой-то величины до нуля. Переключают авометр в первичной цепи на измерение силы тока. Замечают максимальную и минимальную силу тока при изменении сопротивления реостата от нуля до наибольшего значения. Находят сначала среднее значение тока в первичной обмотке, а затем и среднюю потребляемую трансформатором мощность (возможно, значение  $N_1 = 3,4 \text{ вт}$ ).

3. Переключают авометр из первичной цепи во вторичную, применяя его для измерения силы тока  $I_2$ . Перемещают ползунок реостата и при этом замечают несколько значений тока и соответствующего ему напряжения во вторичной цепи. Заменяют реостат магазином сопротивлений и вновь находят значения  $I_2$  и  $U_2$  при разных сопротивлениях.

Подсчитывают мощность во вторичной цепи  $N_2 = I_2 U_2$ , к.п.д. транс-

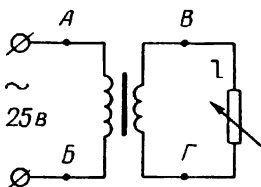


РИС. 41.

форматора при разных нагрузках  $\eta = \frac{N_2}{N_1}$  и сопротивление во вторичной цепи  $R = \frac{U_2}{I_2}$ . Все данные заносят в таблицу, по которой можно построить график.

Например, для случая, когда вторичная обмотка содержала 200 витков, были получены следующие данные:

$U_2, \text{ в}$	2,2	2,5	3	3,2	3,9	4,2	4,9
$I_2, \text{ а}$	0,33	0,3	0,255	0,23	0,16	0,13	0,06
$N_2, \text{ см}$	0,73	0,75	0,77	0,74	0,62	0,56	0,3
$\eta$	0,21	0,22	0,23	0,22	0,18	0,16	0,09
$R, \text{ ом}$	6,7	8,5	12	14	25	32	80

4. Рассчитывают число витков провода ПЭЛ-0,25 во вторичной обмотке трансформатора для нормального горения лампы с номинальным напряжением 2,5 в и силой тока 0,15 а.

## РАБОТА № 14 | СБОРКА РЕЛАКСАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА И РАБОТА С НИМ

Этой работой предусмотрено практическое получение графиков зависимости периода колебаний генератора от емкости и индуктивности, а также использование полученных графиков для измерения  $R$  и  $C$ . Содержание работы рассмотрено в качестве примера на страницах 8—10, поэтому остановимся только на порядке выполнения опытов и возможных результатах.

Для выполнения работы потребуется следующее оборудование (рис. 42): неоновая лампа МН-5 на стойке, рычаж-

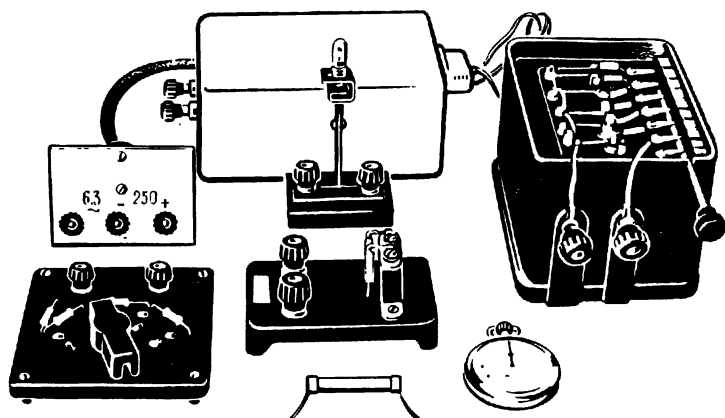


РИС. 42.

ной реостат, блок питания с колодкой, батарея конденсаторов от 1 до 8 мкф, секундомер, сопротивление порядка 2—8 Мом без обозначений, конденсатор емкостью 1—8 мкф также без обозначений, провода.

### Ход работы

1. Собирают цепь по рисунку 5. Устанавливают переключатель реостата в положение, когда его сопротивление будет 2 Мом. Перемещением движка батареи конденсаторов устанавливают емкость 2 мкф. Отсчитывают по секундомеру время пяти периодов (период — время между соседними вспышками лампы). Отсчеты производят 6—7 раз. Затем устанавливают сопротивление 4 Мом и опять отсчитывают время пяти периодов не менее шести раз. Аналогичные измерения проводят для 6 Мом и 8 Мом.

2. Устанавливают на реостате сопротивление 6 Мом и определяют время пяти периодов для емкостей 1 мкф, 2 мкф, 4 мкф, 8 мкф.

Все данные заносят в таблицы, по которым определяют периоды для каждого случая и строят графики зависимости  $T$  от  $R$  и  $T$  от  $C$ .

Возможны следующие данные:

Емкость, мкф	Сопротивление, Мом	Время пяти периодов, сек						
		2	4	3,9	4,1	4	4,1	4,1
2	2	4	3,9	4,1	4	4,1	4,1	4
	4	8,4	7,6	7,8	8	8,2	8,2	8,2
	6	12,8	12,8	12,8	11,8	12,8	12,8	12,8
	8	15,8	15,8	16,1	15,6	15,9	16	15,8

Сопротивление, Мом	Емкость, мкф	Время пяти периодов, сек						
		1	5	5,1	5,2	5,2	5,2	5,1
6	1	5	5,1	5,2	5,2	5,2	5,1	
	2	12,2	12,8	12,1	12,4	12,8	12,4	
	4	26,1	25,8	25,5	25,4	26	25,6	
	8	55,8	55,6	55,9	55,6	55,4	55,6	

C 2 мкф	R	2	4	6	8
	T	0,8	1,6	2,5	3,2

R 6 Мом	C	1	2	4	8
	T	1	2,5	5,2	11,1

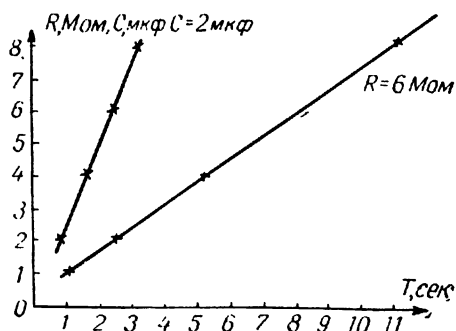


РИС. 43.

Графики, построенные по этим данным, показаны на рисунке 43.

3. Определяют значения неизвестных сопротивлений и емкостей. Для этой цели включают в цепь неизвестное сопротивление при  $C=2$  мкф (или неизвестный конденсатор при  $R=6$  Мом). Находят период релак-

сационных колебаний, а затем по графику определяют искомую величину.

Осциллограф представляет собой электронный прибор, дающий возможность наблюдать на экране электроннолучевой трубки некоторые закономерности электрических процессов и производить измерения. Блок-схема осциллографа представлена на рисунке 44.

1. Блок трубки обеспечивает получение светящегося пятна в центре экрана (фокусирование, изменение яркости, перемещение светящейся точки по экрану трубки).

2. Усилитель «У» усиливает исследуемый сигнал. Усиленное напряжение сигнала подается на вертикально отклоняющие пластины трубки.

3. Генератор развертки создает регулируемое по частоте напряжение, обеспечивающее равномерное перемещение электронного пучка в горизонтальном направлении. Для совпадения начала развертки с определенной величиной смещения исследуемого сигнала этот сигнал подается на вход генератора развертки. При синхронизации частоты развертки с частотой исследуемого сигнала на экране трубки наблюдается устойчивая картина из одного, двух или нескольких периодов исследуемого сигнала. Синхронизацию можно осуществить и от внешнего источника переменного напряжения с частотой, кратной частоте исследуемого сигнала.

4. От блока питания подаются анодные напряжения и напряжения накала на все блоки.

Принципиальная схема блока трубки дана на рисунке 45. Потенциометр  $R_2$  изменяет разность потенциалов между первым и вторым анодами, что изменяет форму электрического поля между ними. Этим обеспечивается фокусирование электронного пучка. Подавая отрицательный потенциал на управляющий электрод с потенциометра  $R_1$ , можно уменьшить число электронов, попадающих на экран. При этом уменьшается яркость свечения экрана. Через сопротивления  $R_3—R_6$  на отклоняющие пластины подается по-



ложительный потенциал, равный потенциалу второго анода. Это обеспечивает равномерное движение электронов на участке анод — экран.

На вертикальной панели трубка удерживается в хомутике, который можно зажать или ослабить с помощью фасонной гайки. На рисунке 46, А показан вид спереди на блок трубки. Смещение светящейся точки по экрану вверх

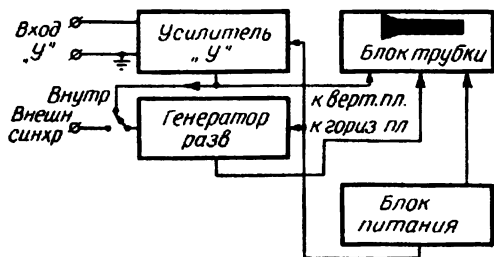


РИС. 44. ↑

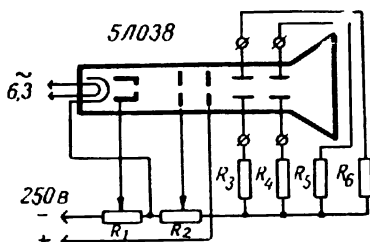


РИС. 45. →

$$R_1 = 50 \text{ кОм} \quad R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 1 \text{ Мом}$$

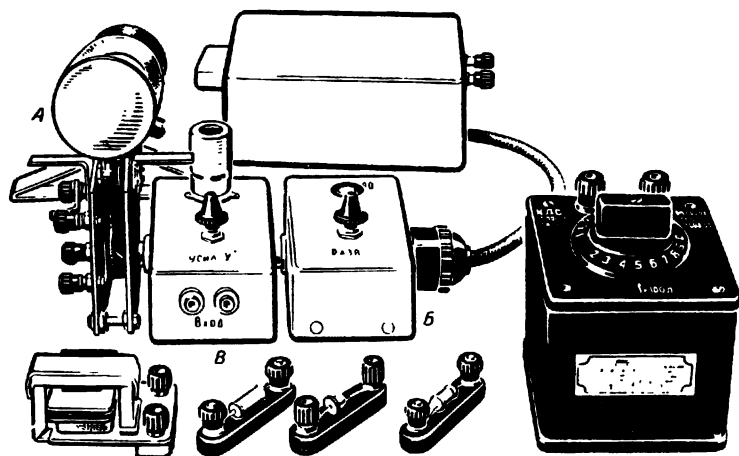


РИС. 46.

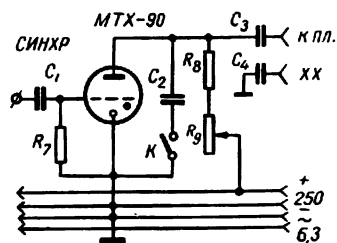
или вниз, вправо или влево осуществляется путем движения стального намагниченного полукольца вдоль шейки трубки и его вращением вокруг трубки.

С одной стороны панели смонтированы ручки от потенциометров  $R_1$  и  $R_2$  («яркость», «фокус»), а также зажимы, идущие от пластин ХХ и УУ. С другой — укреплен цоколь восьмиштырьковой лампы, к которому подведены выводы накала, анода и пластин трубки. Через цоколь на трубку подается питание и соответствующие сигналы.

Генератор развертки (релаксационный) формирует пилообразное напряжение для пластин ХХ блока трубки (рис. 47). Период колебаний зависит от  $C_2$ ,  $R_8$ ,  $R_9$  и может меняться с изменением сопротивления  $R_9$ . Через разделительные конденсаторы  $C_3$  и  $C_4$  сигнал подается на пластины электроннолучевой трубки. Подачей исследуемого сигнала через  $C_1$  на сетку тиратрона осуществляется синхронизация.

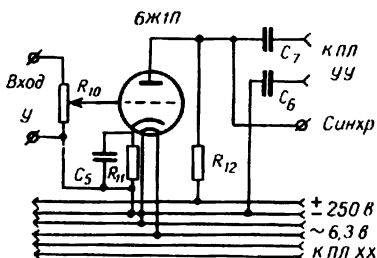
Ручка реостата  $R_9$  «Разв.» выведена наверх блока (рис. 46, Б). Отвод от конденсатора  $C_1$  соединен с зажимом «Синхр.», который расположен на задней стенке корпуса.

Усилитель служит для усиления сигналов переменного тока. Он собран на лампе 6Ж1П (рис. 48). Экранная сетка соединена с анодом.  $R_{12}$  является анодной нагрузкой.  $R_{11}$  и  $C_5$  обеспечивают смещение на управляющей сетке. Величину входного сигнала можно менять потенциометром  $R_{10}$ . Ручка потенциометра  $R_{10}$  «Усил. У» выведена наверх корпуса (рис. 46, В). На передней стенке корпуса имеются гнезда входа. На задней — смонтирован зажим «Синхр.», к



$$C_1 = 0,05 \text{ мкФ}, C_2 = C_3 = C_4 = 0,5 \text{ мкФ}, \\ R_7 = 100 \text{ ком}, R_8 = 51 \text{ ком}, R_9 = 3,3 \text{ Мом}$$

РИС. 47.



$$R_{10} = 0,5 \text{ Мом}, R_{11} = 2 \text{ ком}, R_{12} = 250 \text{ ком}, \\ C_5 = 0,05 \text{ мкФ}, C_6 = C_7 = 0,05 \text{ мкФ}$$

РИС. 48.

которому подведен провод, идущий от анодной нагрузки. Синхронизация осуществляется при соединении проводником зажимов «Синхр.» усилителя и генератора.

Мощность, потребляемая всеми блоками лабораторного осциллографа, порядка 10 вт.

Генератор развертки и усилитель смонтированы в алюминиевых шасси размером  $90 \times 60 \times 50$  мм. На одной боковой стенке каждого блока укреплен цоколь, на противоположной стенке симметрично цоколю смонтирована октальная панель. Блок трубки, генератор развертки, усилитель, блок питания подключаются друг к другу с помощью цоколей и панелей. Через цоколи и панели передается питание, а также сигналы на пластины ХХ. Отводы, обозначенные на схемах стрелкой, припаиваются к цоколю, а отводы со значком гнезда — к панели.

Подключив блок питания непосредственно к блоку трубки, можно провести целый ряд опытов:

1. Наблюдение отклонения электронного пучка электрическим и магнитным полями.
2. Определение чувствительности пластин к отклонению.
3. Измерение напряжения и тока.
4. Измерение сдвига фаз между синусоидальными напряжениями.
5. Определение частоты исследуемого сигнала с помощью фигур Лиссажу.
6. Наблюдение кривой намагничивания и другие опыты.

Если подключить к блоку трубки генератор развертки, а к нему блок питания, то можно (без усиления сигналов) наблюдать формы сигналов переменного напряжения, измерять величины, характеризующие переменный ток.

Когда осциллограф собирают в такой последовательности: блок трубки, усилитель, генератор развертки, блок питания, то можно (с усилением сигналов) изучать звуковые колебания, радиотехнические устройства (выпрямитель, усилители, звуковые генераторы и т. д.).

При составлении руководства следует подобрать схемы, которые обеспечивали бы последовательное знакомство учащихся сначала с блоком трубки, затем с генератором развертки и, наконец, с усилителем. Для этого потребуется следующее оборудование (рис. 46): лабораторный осциллограф, лабораторный трансформатор (см. работу

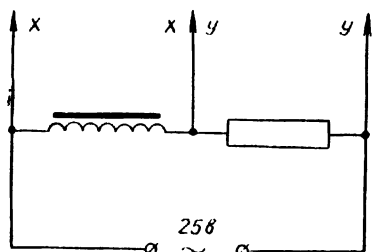


РИС. 49.

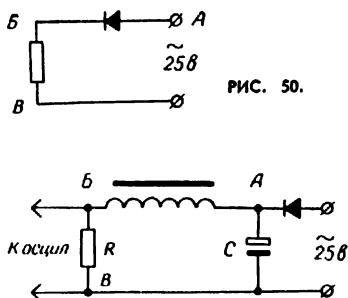


РИС. 50.

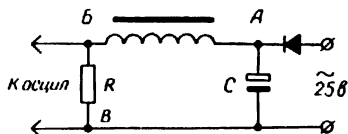


РИС. 51.

№ 13), диод Д7Ж на панели, конденсатор на панели (10 мкф  $\times$  25 в), резистор на панели (10 ком), магазин сопротивлений (100—1000 ом), а также авометр, провода.

Можно, например, предложить для учащихся такой ход работы.

Собирают установку, состоящую из блока трубки и блока питания. Подключают к пластинам ХХ и УУ цепь, собранную по рисунку 49. В качестве дросселя можно взять первичную обмотку лабораторного трансформатора и сопротивление 1 ком. Напряжение 25 в берут от блока питания. Зарисовывают форму кривой, полученной на экране. Меняют концы проводов, идущих к пластинам УУ. Наблюдают за полученными изменениями и объясняют их.

Затем собирают установку, состоящую из блока трубки, генератора и блока питания. На пластины УУ подают переменное напряжение 25 в. Вращением ручки «Разв.» изменяют частоту генератора и наблюдают изменения.

Собирают схему полного осциллографа. Подают сигнал 25 в на вход усилителя. Выясняют назначение ручки «Усил. У». Ручкой «Разв.» устанавливают такую частоту развертки, чтобы картина на экране медленно смещалась в одну или в другую сторону. Соединяют проводником зажимы «Синхр.» генератора развертки и усилителя и убеждаются, что синхронизация будет лучше при большей амплитуде сигнала.

Собирают установку по рисунку 50. Наблюдают и вычерчивают кривые, полученные на экране трубки для случаев, когда сигнал на вход осциллографа подается с точек А, В и Б, В.

Собирают установку по рисунку 51. Наблюдают и вычерчивают формы кривых, полученных на экране трубки для случаев:

а) конденсатор отключен. Меняют ступенчато величину сопротивления (100 *ом*, 300 *ом*, 600 *ом*, 1000 *ом*);

б) подключают конденсатор *C* к точкам *AB* и проводят наблюдения при различных сопротивлениях;

в) изучают распределение напряжения на различных участках, подключая авометр к точкам *A,B*; *A,B*; *B,B*;

г) вместо магазина сопротивления включают резистор 10 *ком*. Проводят те же наблюдения и измерения. Делают выводы о причинах изменения формы кривой.

РАБОТА №

16

### СБОРКА РЕЛЕ ВРЕМЕНИ НА ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЕ

Усилитель лабораторного осциллографа (рис. 46, *B*) может быть применен в качестве основного блока, на котором можно собирать различные электронные реле.

Для примера рассмотрим применение усилителя в схемах реле времени (рис. 52 и 53). В этом случае потребуется следующее оборудование (рис. 54): усилитель, блок питания с колодкой и фишкой, потенциометр (50 *ком*), диод Д7Ж на панели, конденсатор на панели (10 *мкф* × 25 *в*), радиореле, лампа на стойке (3,5 *в*), ключ, аккумулятор, провода.

В установках с усилителем к блоку питания подключают колодку, а к усилителю — фишку. Это позволяет включать обмотку реле в анодную цепь.

При включении блока питания (рис. 52) после прогрева лампы усилителя замыкаются контакты поляризованного реле, однако лампа не загорается, так как ключ *K* разомкнут. При замыкании ключа лампа загорается и одновременно начинает заряжаться конденсатор *C*, отрицательный полюс соединен с сеткой лампы усилителя. Возрастающее по абсолютной величине отрицательное напряжение на конденсаторе достигает потенциала, при котором анодный ток уменьшается до величины срабатывания реле и лампа гаснет. Время горения лампы зависит от сопротивления потенциометра *R*, от емкости конденсатора *C* и от входного сопротивления усилителя, т. е. от  $R_{10}$  (рис. 48).

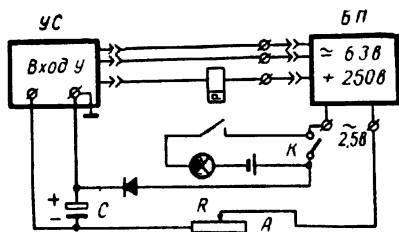


РИС. 52.

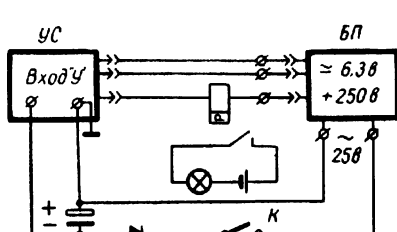


РИС. 53.

При размыкании ключа  $K$  конденсатор разряжается через сопротивление  $R_{10}$  в течение 2—3 сек. При последующем замыкании ключа все процессы повторяются. В предлагаемом варианте время горения лампы порядка нескольких секунд.

Вторая установка (рис. 53) позволяет отключать лампу на определенный промежуток времени. При замыкании ключа  $K$  конденсатор заряжается практически мгновенно. Лампа усилителя запирается, лампа в цепи гаснет. При размыкании ключа конденсатор разряжается на входное сопротивление усилителя  $R_{10}$  (рис. 48). При этом потенциал на управляющей сетке возрастает (по абсолютной величине уменьшается), анодный ток увеличивается, срабатывает реле и лампа загорается. Время от размыкания ключа до загорания лампы зависит от емкости конденсатора и сопротивления  $R_{10}$ .

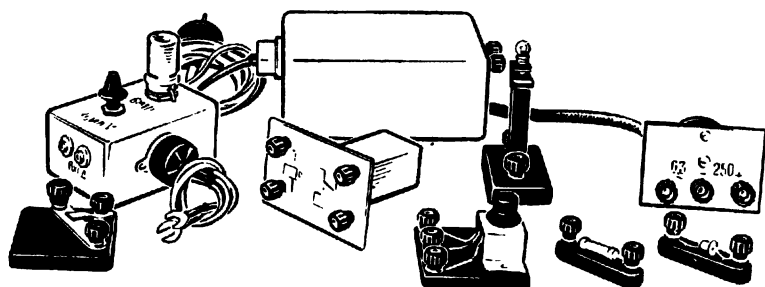


РИС. 54.

## Ход работы

Собирают установку по рисунку 52. Устанавливают движок потенциометра в точке  $A$ . Ручкой «Усил. У», которая находится на корпусе усилителя, добиваются такого положения, при котором лампа при замыкании ключа  $K$  загорается, а если через 1—2 сек отключить ключ, то практически сразу же гаснет (в дальнейшем ручку «Усил. У» не трогают).

Изучают зависимость времени горения лампы от положения движка потенциометра  $R$ .

Собирают установку по рисунку 53. При замыкании ключа лампа гаснет, при размыкании загорается через определенный промежуток времени. Выясняют характер зависимости времени выдержки (лампа не горит) от положения ручки «Усил. У».

РАБОТА №

17

ИЗУЧЕНИЕ ТИРАТРОНА МТХ-90

Цель работы — уяснить принцип действия релаксационного генератора развертки и подготовить учащихся к пониманию того, как осуществляется синхронизация в осциллографе. Опыты проводят с генератором развертки (рис. 46, Б, рис. 47).

Если разомкнуть ключ  $K$  (рис. 47), т. е. отключить конденсатор  $C_2$ , и не подавать никакого напряжения на управляющую сетку тиратрона, то можно установить потенциалы зажигания и погасания тиратрона (увеличивая и уменьшая анодное напряжение). Тиратрон загорается, когда напряженность электрического поля вызывает ионизацию газа. Напряженность поля может создаваться под действием напряжения, приложенного как на участке анод — катод, так и на участке сетка — катод. Пусть на анод подано постоянное напряжение, которое создает электрическое поле напряженностью  $E_a$ , меньшей напряженности  $E_z$ , при которой загорается тиратрон (рис. 55). Если подать на сетку переменное напряжение, то на участке сетка — катод напряженность поля будет пульсировать (сплошной график). Если максимальное значение пульсаций достигнет напряженности  $E_z$ , при которой ионизируется газ, то тиратрон загорается. Таким образом, подавая на сетку переменное напряжение, можно понизить потенциал зажигания тиратрона.

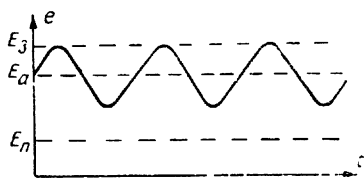


РИС. 55.

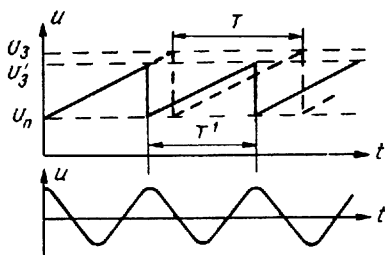


РИС. 56.

При замкнутом ключе  $K$ , нулевом потенциале на сетке и при анодном напряжении, превышающем потенциал зажигания  $U_3$ , тиратрон работает в режиме релаксационного генератора (см. работу № 14). Период колебаний  $T$  зависит от  $C_2$ ,  $R_8$  и  $R_9$ . Напряжение на конденсаторе  $C_2$  и на тиратроне будет изменяться пилообразно (рис. 56—пунктирный график). Это изменение можно пронаблюдать, если подключить вольтметр на выход генератора — «К пл. ХХ» (рис. 47). Если на сетку подать переменное напряжение, то тиратрон будет загораться при более низком напряжении  $U'_3$ , в связи с чем период колебаний генератора станет  $T'$ , т. е. меньше  $T$ . При этом автоматически устанавливается кратность между периодом колебаний генератора и периодом сигнала, подаваемого на сетку тиратрона.

При этом автоматически устанавливается кратность между периодом колебаний генератора и периодом сигнала, подаваемого на сетку тиратрона.

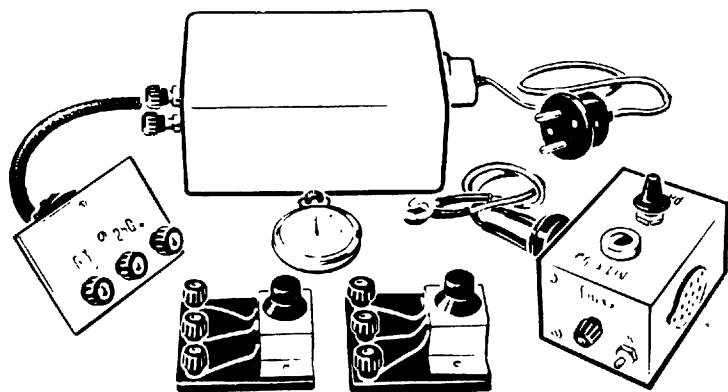


РИС. 57.



Лабораторной работой предусмотрено изучение рассмотренных физических процессов. Для проведения опытов необходимо следующее оборудование (рис. 57): блок питания, генератор развертки, потенциометры (1,5 ком, 50 ком), авометры (2 шт.), секундомер, провода.

### Ход работы

*Опыт 1.* Изучение зависимости потенциала зажигания  $U_3$  от переменного напряжения на сетке тиратрона  $U_c$ .

Отключают конденсатор  $C_2$  (рис. 47). Собирают установку по рисунку 58. Устанавливают движки потенциометров  $R_1$  и  $R_2$  в точках  $A$  ( $U_c=0$ ,  $U_a=0$ ). Ручку «Разв.» на генераторе устанавливают в среднее положение. Не меняя напряжения на сетке, увеличивают напряжение на аноде с помощью потенциометра  $R_2$ . Замечают, при каком напряжении  $U_3$  вспыхивает тиратрон. Затем медленно уменьшают напряжение до момента погасания лампы. Замечают потенциал погасания  $U_{п}$ . Опыт проводят несколько раз, замечая при этом значения  $U_3$  и  $U_{п}$ . Средние значения каждой из этих величин заносят в таблицу.

Устанавливают переменное напряжение на сетке  $U_c = 10$  в и находят новые значения потенциалов зажигания и погасания, которые также заносят в таблицу. Прodelывают аналогичные опыты и при  $U_c = 20$  в.

Возможны такие данные:

$U_c$  — 0 в, 10 в, 20 в,  
 $U_3$  — 207 в, 198 в, 188 в,  
 $U_{п}$  — 65 в, 65 в, 65 в.

По данным таблицы легко сделать вывод, что с увеличением переменного напряжения на управляющей сетке потенциал зажигания уменьшается.

*Опыт 2.* Наблюдения изменения напряжения на выходе генератора развертки.

Подключают конденсатор  $C_2$  (рис. 47). Схему установки не меняют.

Устанавливают движок потенциометра  $R_1$  в

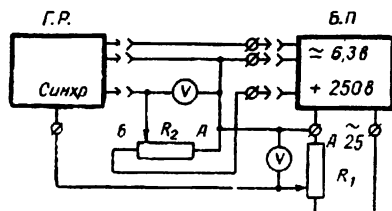


РИС. 58.

точке А, а движок потенциометра  $R_2$  устанавливают в точке В. Подключают авометр (как вольтметр высокого напряжения) на выход генератора развертки («К пл. XX», рис. 47).

**Опыт 3.** Изучение зависимости периода колебаний генератора развертки от анодного напряжения  $U_a$  и от напряжения на сетке  $U_c$ .

Устанавливают  $U_c = 0$ ,  $U_a$  максимальным. Ручкой «Разв.» устанавливают частоту миганий тиратрона около 1 гц (в дальнейшем ручкой «Разв.» не пользуются). Определяют период колебаний  $T$  (с помощью секундомера отсчитывают время  $t$  десяти вспышек тиратрона, тогда  $T = \frac{t}{10}$ ).

Опыт проводят не менее пяти раз. Заносят в таблицу значения  $U_a$  и  $T$ . Устанавливают анодное напряжение на 10 в меньше максимального и вновь определяют период. Затем анодное напряжение уменьшают еще на 10 в и опять находят период. Зависимость периода колебаний генератора от анодного напряжения прослеживают до потенциала зажигания.

В одном из опытов были получены следующие результаты:

$U_a$  — 250 в, 240 в, 230 в, 220 в,  
 $f$  — 1 гц, 1,1 гц, 1,2 гц, 1,4 гц.

Устанавливают максимальное значение анодного напряжения. Определяют период миганий тиратрона при значениях напряжения на сетке 0, 10 в, 20 в.

Возможны такие результаты:

$U_c$  — 0, 10 в, 20 в,  
 $f$  — 1 гц, 0,9 гц, 0,8 гц.

По полученным таблицам легко установить, что период колебаний релаксационного генератора будет тем больше, чем меньше анодное напряжение; кроме того, период уменьшается с увеличением напряжения на сетке.

Транзисторы, выпускаемые промышленностью, классифицируются прежде всего по мощности и по частотам, в области которых они могут работать. В старых обозначениях,

например, транзисторы малой мощности и низкой частоты обозначались так: П13, П16 и пр. В связи с введением новых корпусов к обозначениям транзисторов стали добавлять букву М (например, транзистор МП16 отличается от П16 только конструкцией корпуса, электрические же характеристики у этих транзисторов одинаковы).

Новая система для обозначения типа транзистора состоит из следующих элементов. Первый элемент — это буква или цифра, обозначающая исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен транзистор (Г или 1 — германий, К или 2 — кремний). Вторым элементом обозначения транзисторов является буква Т. Третий элемент — трехзначное число, указывающее на принадлежность транзистора к тому или иному диапазону частот (см. табл.).

Предельная частота усиления транзистора	Максимальная рассеиваемая мощность		
	$P < 0,3 \text{ вт}$	$0,3 < P < 1,5 \text{ вт}$	$P > 1,5 \text{ вт}$
$f < 3 \text{ Мгц}$	101—199	401—499	701—799
$3 \text{ Мгц} < f < 30 \text{ Мгц}$	201—299	501—599	801—899
$f > 30 \text{ Мгц}$	301—399	601—699	901—999

Например, ГТ109 — германиевый транзистор малой мощности, низкой частоты, 2Т301 — кремниевый транзистор малой мощности высокой частоты. Четвертым элементом может быть буква, означающая разновидность типа из данной группы.

Электрические свойства транзистора характеризуются целым рядом величин, среди которых можно отметить обратные токи коллектора  $I_{к0}$  и эмиттера  $I_{э0}$  (рис. 59, а, б), а также начальный ток коллектора  $I_{кн}$  (рис. 59, в). При включении транзистора по схеме с общим эмиттером рассматривают коэффициент усиления по постоянному току, который измеряется отношением изменения тока коллектора к вызвавшему его изменению тока базы при постоянном напряжении на коллекторе (порядка нескольких вольт).

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b}$$

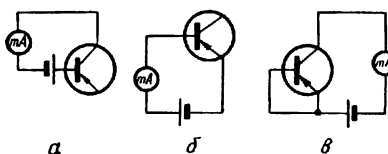


РИС. 59.

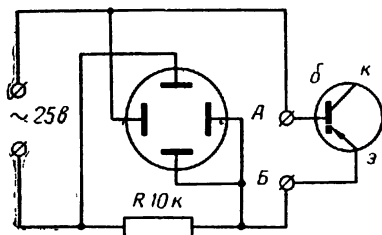


РИС. 60.

Для низкочастотных транзисторов типа П13—МП16 значение  $\beta$  заключено в пределах от 20 до 100.

Для расчетов схем, работающих на транзисторах, часто пользуются вольтамперными коллекторными статическими характеристиками полупроводниковых триодов, которые дают зависимость тока коллектора  $I_K$  от напряжения на коллекторе  $U_K$  при определенных значениях тока базы  $I_B$ .

В содержание работы по изучению транзистора включаются следующие вопросы:

1. Контроль  $p-n$ -переходов транзистора.
2. Определение начального тока коллектора.
3. Снятие статической характеристики транзистора.
4. Определение коэффициента усиления по току.

Контроль  $p-n$ -переходов можно проводить по вольтамперным характеристикам, полученным на экране электроннолучевой трубки. Если собрать цепь по рисунку 60, то на экране трубки можно наблюдать разные фигуры. Пусть переход эмиттер—база замкнут накоротко. Тогда между пластинами  $XX$  не будет разности потенциалов, а на пластины  $YY$  будет подаваться сигнал с сопротивления  $R$ .

На экране будет виден вертикальный отрезок. Если же в цепи окажется обрыв, то ток через сопротивление  $R$  не потечет и на пластины  $YY$  не будет подаваться напряжение, в то время как пластины  $XX$  окажутся под напряжением. Теперь отрезок будет виден в горизонтальном направлении. Когда  $p-n$ -переход исправен, то на экране будет наблюдаться вольтамперная характеристика в виде буквы  $\Gamma$ . В самом деле, если  $p-n$ -переход в первую половину периода включается в прямом направлении, то его сопротивление ничтожно мало. Это уподобляется короткому замыканию. Во вторую же половину периода (при обратном направлении тока) сопротивление перехода резко возраста-

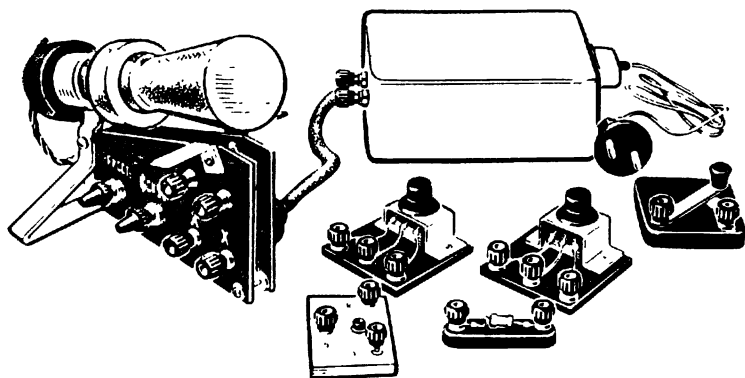


РИС. 61.

ет, что практически означает размыкание цепи. Таким образом, полпериода электронный луч на экране вычерчивает вертикальный отрезок, а полпериода — горизонтальный. Осциллографический способ проверки  $p-n$ -переходов нашел широкое применение в заводских условиях при контроле транзисторов.

Для проведения опыта необходимо следующее оборудование (рис. 61): блок электроннолучевой трубки, блок питания, транзистор на панели, резистор (10 ком), потенциометры (1,5 ком, 50 ком), ключ, а также вольтметр (3 в), авометры (2 шт.), аккумулятор, провода.

### Ход работы

1. Собирают цепь по рисунку 60. Переменное напряжение берут от блока питания. К точкам  $A$  и  $B$  присоединяют ключ. Включив трубку, наблюдают на ее экране светящийся отрезок при замкнутом и разомкнутом ключе.

2. Вместо ключа к точкам  $A$  и  $B$  подключают поочередно  $p-n$ -переходы база — эмиттер, база — коллектор транзистора и убеждаются в их исправности по наблюдаемой Г-образной фигуре.

Затем снимают вольтамперную коллекторную статическую характеристику.

3. Собирают установку по рисунку 62. Устанавливают потенциометры так, чтобы снимаемые напряжения равня-

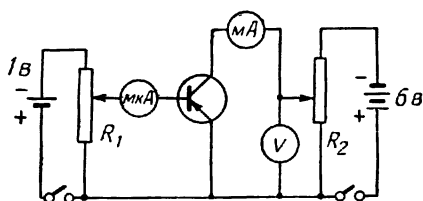


РИС. 62.

лись нулю. Замыкают ключи. Перемещением ползунка потенциометра в цепи коллектора устанавливают напряжение порядка 1—2 в. Показания миллиамперметра дадут  $I_{кн}$ .

4. Устанавливают напряжение на коллек-

торе равным нулю. Потенциометром  $R_1$  устанавливают в цепи базы ток 0,05 ма. Затем при изменении потенциометром  $R_2$  напряжения на коллекторе снимают показания  $I_k$  через каждые 0,2—0,4 в коллекторного напряжения. При этом с помощью потенциометра  $R_1$  все время поддерживают ток базы равным 0,05 ма. Данные измерений заносят в таблицу.

Зависимость  $I_k$  от  $U_k$  снимают при токе базы  $I_b=0,05$  ма и при  $I_b=0,1$  ма.

5. По вольтамперным коллекторным статическим характеристикам транзистора определяют коэффициент усиления по постоянному току  $\beta$ .

В одном из опытов по изучению транзистора П16А были получены следующие величины:  $I_b=0$ ;

а)  $U_k=1,6$  в,  $I_{кн}=0,5$  ма;

б)  $U_k=2,6$  в,  $I_{кн}=0,8$  ма.

$I_b$	$U_k, \text{ в}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
0,05 ма	$I_{кн}, \text{ ма}$	0	0,9	1,8	2,8	3,6	3,9	4,1	4,3	4,5

$I_b$	$U_k, \text{ в}$	2	2,4	2,8
0,05 ма	$I_k, \text{ ма}$	4,9	5,2	5,5

$I_b$	$U_k, \text{ в}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	2,8
0,1 ма	$I_k, \text{ ма}$	0	1	2	3,1	4,1	5,1	5,3	5,8	6	6,3	6,8

Графики, построенные по таблицам (рис. 63), дают возможность определить коэффициент усиления по току. Если рассмотреть при напряжении 1,6 в изменение тока базы ( $\Delta I_B = 0,1 \text{ ма} - 0,05 \text{ ма} = 0,05 \text{ ма}$ ), то ему будет соответствовать вполне определенное изменение тока коллектора ( $\Delta I_K = 5,7 \text{ ма} - 4,5 \text{ ма} = 1,2 \text{ ма}$ ). Это дает возможность подсчитать  $\beta$ :

$$\beta = \frac{1,2}{0,05} = 24.$$

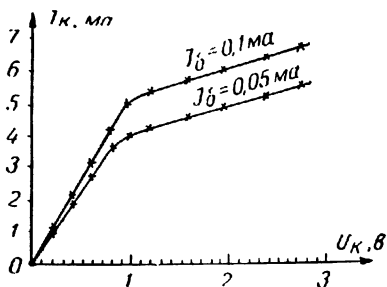


РИС. 63.

## РАБОТА № 19 | СБОРКА УСТАНОВОК НА ТРАНЗИСТОРЕ

Работа предусматривает изучение применений транзистора в схемах усиления и генерирования электрических колебаний. Для проведения опытов предлагается следующее оборудование (рис. 64): транзистор на панели А, лабораторный усилитель Б, колебательный контур В (катушка, кон-

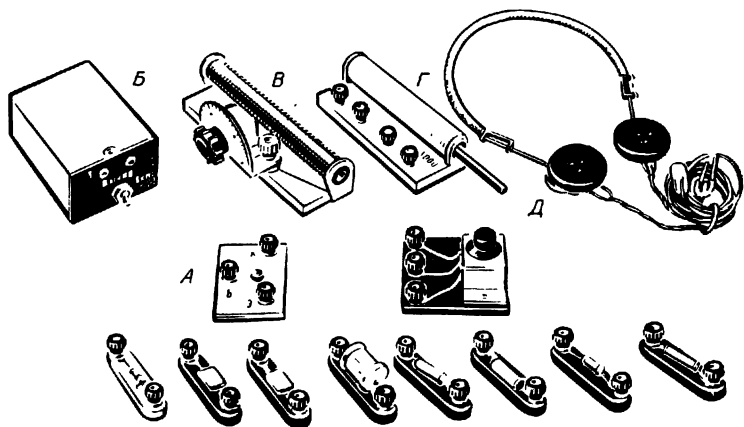


РИС. 64.

денсатор со шкалой 50—350 пф), катушка с двумя обмотками Г, ферритовый стержень Д, потенциометр (1,5 ком), полупроводниковый диод (Д2Д), конденсаторы (0,1 мкф, 10 мкф, 1000 пф, 150 пф), конденсатор 1000 пф на панели с гнездами, резисторы (1,2 Мом, 43 ком), головные телефоны; кроме того, проигрыватель с пластинкой, аккумулятор, провода.

Катушка колебательного контура описана в работе № 12 (рис. 33, Г). Катушка с двумя обмотками намотана на каркас длиной 120 мм, диаметром 14 мм. Первая обмотка содержит 400 витков провода ПЭЛ-0,5, вторая — 3000 витков провода ПЭЛ-0,15.

### Ход работы

1. Изучение свойств транзистора начинают со сборки цепей по усилению электрических колебаний (рис. 65 и 66). На рисунках даны схемы усиления электрических колебаний от звукоснимателя. Схемы не эквивалентны, ибо в первом случае на выходе получаются искаженные колебания, так как на базу не подается постоянное отрицательное напряжение относительно эмиттера.

В схеме усиления колебаний с трансформаторной связью применяется катушка с двумя обмотками. Чтобы добиться удовлетворительной работы усилителя, необходимо перемещать ползунок потенциометра только вблизи зажима, соединенного с положительным полюсом источника тока.

2. Детекторные приемники с услителем собирают по схемам, изображенным на рисунках 67 и 68. В схему приемника на одном транзисторе входят следующие детали:  $C_1, L$ —

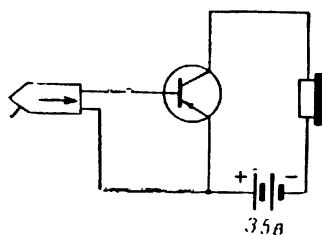


РИС. 65.

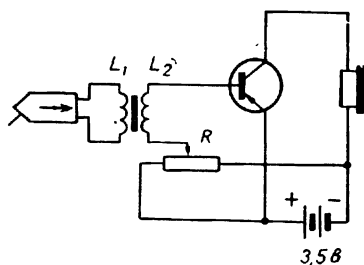


РИС. 66.



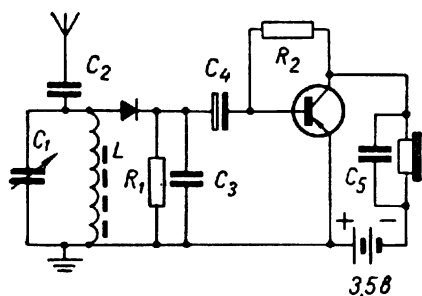


РИС. 67.

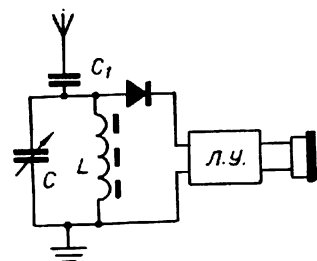


РИС. 68.

колебательный контур (собственную частоту контура можно менять как изменением емкости  $C_1$ , так и изменением индуктивности путем введения в катушку ферритового сердечника), диод Д2Д,  $C_2 = C_5 = 1000$  пф,  $C_3 = 150$  пф,  $C_4 = 10$  мкф,  $R_1 = 1,2$  Мом,  $R_2 = 43$  ком (рис. 67).

Конденсатор  $C_2$  улучшает избирательность приемника,  $R_1$  является нагрузочным сопротивлением, сигнал с которого через  $C_4$  подается на транзистор. Конденсатор  $C_3$  замыкает на землю высокочастотную составляющую сигнала, полученного после детектора.  $R_2$  обеспечивает работу транзистора на прямолинейном участке характеристики. Приемник устойчиво работает при небольшой наружной антенне и хорошем заземлении.

Подключение колебательного контура с детектором к лабораторному усилителю (рис. 68) значительно расширяет число принимаемых радиостанций, резко увеличивая при этом громкость.

3. Генератор звуковых колебаний собирают по трансформаторной схеме, применяя катушку с двумя обмотками (рис. 69). Внутри катушки вводится ферритовый сердечник,  $C = 0,1$  мкф.

Чтобы добиться генерации, ползунок потенциометра перемещают вблизи края, подключенного к положительному полюсу источника тока. Если генерация не возникает, то следует поменять

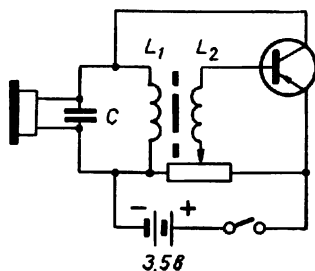


РИС. 69.

провода местами у любой обмотки. Вводя или выводя ферритовый стержень, а также отключая или подключая конденсатор  $C$ , можно менять частоту колебаний генератора приблизительно от 40 до 3000  $гц$ .

Следует помнить, что и в этой схеме нельзя перемещать ползунок потенциометра близко в сторону отрицательного полюса источника тока. При составлении руководства для учащихся необходимо обязательно подчеркнуть это.

## РАБОТА № 20 | ПОЛУЧЕНИЕ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ СТАЛИ И ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Для получения петли гистерезиса необходимо найти способы измерения напряженности  $H$  магнитного поля и магнитной индукции  $B$  или величин, которые изменяются пропорционально им.

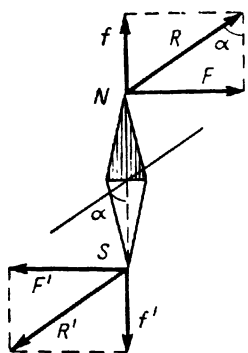


РИС. 70.

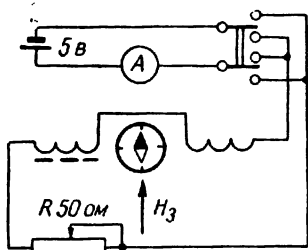


РИС. 71.

Напряженность всегда пропорциональна току, создающему магнитное поле. Измерение же тока не составляет труда. Таким образом, задача сводится к отысканию способа, который позволял бы отсчитывать величину, пропорциональную  $B$ . Такой величиной может быть выбран тангенс угла поворота магнитной стрелки, находящейся в магнитном поле. В самом деле, пусть на стрелку в магнитном поле Земли действует пара сил  $f$  и  $f'$  (рис. 70). Если к стрелке в направлении, перпендикулярном к  $f$ , приложить еще пару сил  $F$  и  $F'$ , то она повернется на угол  $\alpha$  и установится вдоль равнодействующих  $R$  и  $R'$ . Силы  $F$  и  $F'$  могут быть созданы за счет исследуемого магнитного поля, в котором они пропорциональны магнитной индукции. Но  $F = ftg\alpha$ , значит,  $ftg\alpha \sim B$ , т. е.  $tg\alpha \sim B$ .

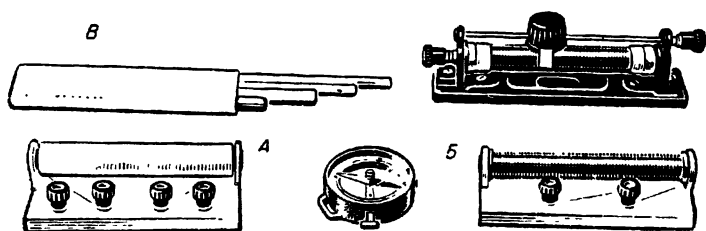


РИС. 72.

Магнитное поле с изменяющейся магнитной индукцией можно создать с помощью одинаковых катушек, магнитные поля которых направлены навстречу друг к другу (рис. 71). Если в одну из катушек ввести стальной сердечник, то тангенс угла отклонения стрелки компаса будет пропорционален магнитной индукции.

Таким образом, для проведения опыта необходимо следующее оборудование (рис. 72): катушка А и катушка Б, содержащие обмотки с равным числом витков, стержни В, компас, реостат (50 ом), а также амперметр (2 а), провода, аккумулятор, двухполюсный переключатель.

### Ход работы

1. По рисунку 71 собирают установку на отдельной доске. Доску располагают так, чтобы оси катушек были перпендикулярны стрелке, которая устанавливается вдоль магнитного поля Земли. Поворотом лимба компаса совмещают один из концов стрелки с нулевым делением.

Катушки включают так, чтобы их магнитные поля были направлены навстречу друг другу. Перемещением катушек вдоль оси добиваются такого положения, когда стрелка компаса не отклоняется при изменении тока в катушках. При этом катушки располагаются на расстоянии 20—25 см от компаса.

В одну из катушек вводят размагнитенный стальной стержень. (Стержень необходимо размагнитить до проведения опытов. Для этой цели катушку с введенным стержнем подключают к ЛАТРу при напряжении 5—10 в переменного тока и уменьшают напряжение до нуля.)

2. Замкнув цепь постоянного тока, выполняют 10 отсчетов угла поворота стрелки при разных значениях тока, который можно менять с помощью реостата. Показания амперметра можно брать через 0,1 *a*.

Отсчеты проводят сначала при увеличении тока от 0 до 1,5 *a*, а затем при уменьшении тока от 1,5 *a* до нуля. Затем переключают ток на обратный и выполняют аналогичные отсчеты. Данные измерений заносят в таблицу.

Возможны, например, следующие данные:

<i>I, a</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,5	0,8	0,7	0,6
$\alpha$	26	45	52	63	67	70	72	74	75	77	76	75	74
$\text{tg } \alpha$	0,5	1	1,3	2	2,4	2,8	3,1	3,5	3,7	4,3	4	4	3,7
<i>I, a</i>	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0							
$\alpha$	74	73	70	67	56	43							
$\text{tg } \alpha$	3,5	3,3	2,8	2,4	1,5	0,9							

При изменении направления тока в катушках на противоположное были получены следующие данные:

<i>I, a</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,5
$\alpha$	-10	27	46	58	63	67	70	73	75	77
$\text{tg } \alpha$	0,2	0,5	1,0	1,6	2,0	2,4	2,8	3,1	3,7	4,3

Уменьшение тока вызывает такие же отклонения угла, как и увеличение тока, поэтому нет смысла дальше продолжать таблицу. График, построенный по данным таблицам, показан на рисунке 73.

Петлю гистерезиса можно получить на экране электроннолучевой трубки, если на пластины ХХ подавать напряжение, пропорциональное  $H$ , а на пластины УУ — напряжение, пропорциональное  $B$ . Такой вариант можно осуществить, если собрать цепь по рисунку 74. Э. д. с., возникающая во вторичной обмотке катушки,

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (1)$$

Магнитный поток через поверхность, охватываемую витками вторичной катушки  $\Phi = kB$ , где  $B$  — магнитная индукция,  $k$  — коэффициент пропорциональности. Тогда

$$E = -k \frac{\Delta B}{\Delta t}.$$

По закону Ома для полной цепи  $E = U + IR_2$ , где  $U$  — падение напряжения на конденсаторе,  $IR_2$  — падение напряжения на сопротивлении. Если выбрать  $R_2$  таким, чтобы  $IR_2 \gg U$ , то приблизительно можно записать:  $E = IR_2$ . Подставляя значение  $E$  в (1), получим:  $IR_2 = -k \frac{\Delta B}{\Delta t}$ , откуда  $I = -k_1 \frac{\Delta B}{\Delta t}$  (2), где  $k_1 = \frac{k}{R_2}$  — постоянная величина.

Так как напряжение на пластины УУ подается с конденсатора, то  $U = \frac{q}{C}$ . За малый промежуток времени  $\Delta t$  на конденсаторе произойдет изменение заряда  $\Delta q$ , в результате чего изменится напряжение на нем на величину  $\Delta U = \frac{\Delta q}{C}$ . Если выбрать  $\Delta t$  достаточно малым, то можно счи-

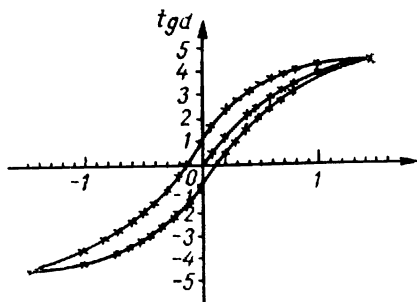


РИС. 73.

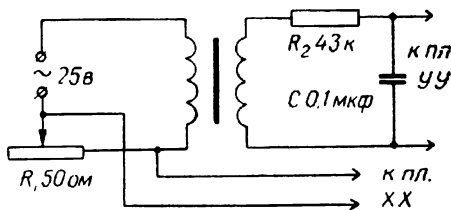


РИС. 74.

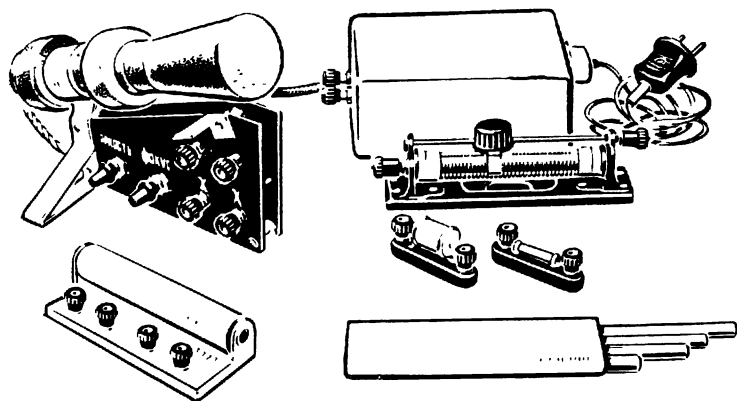


РИС. 75.

тать, что сила тока не меняется. Тогда  $\Delta q = I \Delta t$ , а  $\Delta U = \frac{I \Delta t}{C}$ . Из (2)  $I \Delta t = -k_1 \Delta B$ . Значит,  $\Delta U = -\frac{k_1}{C} \Delta B$ ,  $\frac{k_1}{C} = k_2$  — величина постоянная, поэтому изменение напряжения пропорционально изменению магнитной индукции  $\Delta U = -k_2 \Delta B$ . Значит, на пластины  $YU$  можно подать сигнал, пропорциональный магнитной индукции.

Напряженность магнитного поля, создаваемого первичной обмоткой, пропорциональна току в катушке  $H \sim I$ . Напряжение  $U_1$  на сопротивлении  $R_1$  по закону Ома равно  $IR_1$ . Следовательно,  $U_1 \sim H$ , но напряжение подается на пластины  $XX$ . Таким образом, на пластины  $XX$  подается сигнал, пропорциональный  $H$ .

Итак, для проведения опыта необходимы следующие приборы (рис. 75): блок электроннолучевой трубки, блок питания, катушка с двумя обмотками, стержни, резистор (43 ком), реостат (50 ом), конденсатор (0,1 мкф), а также провода.

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 74. Наблюдают петли гистерезиса для разных стержней.



## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

РАБОТА № 21

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Пусть нужно определить диэлектрическую проницаемость среды  $\epsilon = \epsilon' \epsilon_0$  между пластинами плоского конденсатора. Емкость такого конденсатора

$$C = \frac{\epsilon' \epsilon_0 S}{d}, \quad \text{где}$$

$\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\epsilon'$  — относительная диэлектрическая проницаемость,  $S$  — площадь пластин,  $d$  — расстояние между пластинами.

Емкость можно найти резонансным способом, если собрать схему по рисунку 76. На схеме контур высокочастотного генератора (ВЧГ) вынесен отдельно. Если к ВЧГ приблизить колебательный контур, в который входит исследуемый конденсатор  $C$ , катушка  $L$  и неоновая лампа, то путем изменения частоты генератора можно добиться резонанса, который фиксируется по наибольшему свечению неоновой лампы. Зная частоту генератора и индуктивность катушки  $L$ , можно подсчитать емкость конденсатора  $C$ . Площадь пластин и расстояние между ними определяются непосредственным измерением. Таким образом можно найти диэлектрическую проницаемость.

Для определения емкости конденсатора можно воспользоваться способом, который не требует знания индуктивности. Добившись резонанса путем изменения частоты генератора, заменяют исследуемый конденсатор конденсатором переменной емкости с разградуированной шкалой. Оставляя прежней частоту генератора, добиваются резонанса изменением емкости в колебательном контуре. Значение емко-

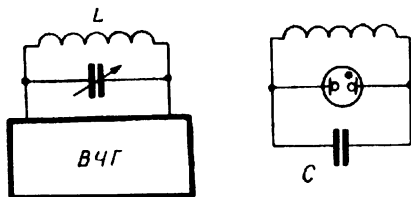


РИС. 76.

сти при резонансе дает искомую величину. Затем легко определить диэлектрическую проницаемость.

В лабораторной работе предлагается определить относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon'$ . Ее можно найти из отношения емкостей, когда рассматриваются емкости кюветы-конденсатора без диэлектрика и с диэлектриком (см. работу № 12):

$$\frac{C_2}{C_1} = \epsilon'.$$

Пусть период собственных колебаний контура с конденсатором без диэлектрика  $T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1}$ , но  $T_1 = \frac{1}{f_1}$ , тогда  $1 = 2\pi f_1\sqrt{LC_1}$ ; для случая с диэлектриком  $1 = 2\pi f_2\sqrt{LC_2}$ . Возведя обе части равенства в квадрат и приравняв правые части, получим:  $f_1^2 C_1 = f_2^2 C_2$ , или  $\frac{C_2}{C_1} = \frac{f_1^2}{f_2^2}$ , значит,

$$\epsilon' = \frac{f_1^2}{f_2^2}.$$

Таким образом, для работы необходимы следующие приборы и оборудование (рис. 77): генератор высокочастотных колебаний *A*, блок питания *B*, колебательный контур *B* (катушка, кювета-конденсатор, конденсатор со шкалой, вилка с патроном и неоновая лампой МН-5), ферритовый стержень, бензол (или другой диэлектрик), провода.

Генератор высокочастотных колебаний собран по трехточечной схеме на лампе 6П1П (рис. 78). Конструкцией предусмотрена смена колебательных контуров (I и II), что

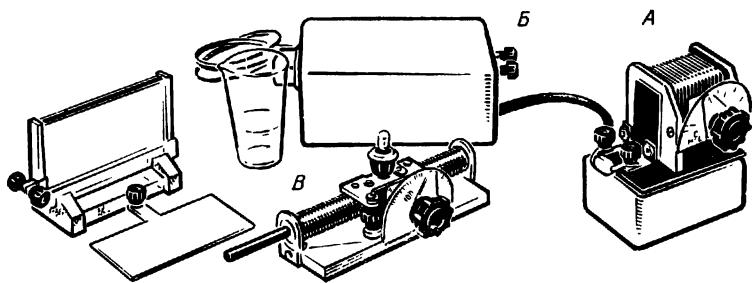
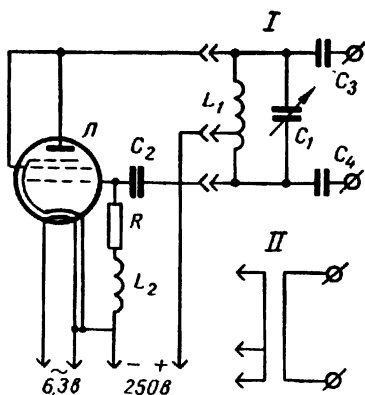


РИС. 77.



обеспечивает работу генератора в диапазоне 0,95—2,4 Мгц и на частоте 145 Мгц. На схеме генератор изображен с подключенным контуром I. Колебания с генератора на потребитель (ультразвуковой излучатель) подаются через разделительные конденсаторы  $C_3$  и  $C_4$ . На частоте 145 Мгц, т. е. когда подключен контур II, осуществляется индуктивная связь между потребителем (двухпроводная линия) и генератором.



$L_1$  — 6 П1П,  $C_1 = 30 - 700$  пф  $C_2 = 1000$  пкф  
 $C_3 = C_4 = 130$  пкф,  $R = 15$  ом

РИС. 78.

#### Детали без контуров

(лампа 6П1П, дроссель, резистор и конденсатор  $C_2$ ) собраны в алюминиевом основании размером  $90 \times 60 \times 50$  мм. На крышке основания смонтированы три гнезда, в которые вставляются штекеры контуров. На боковой стенке основания укреплен цоколь, через который подается накальное и анодное напряжение от блока питания. Дроссель наматывается на керамический каркас длиной 50 мм, диаметром 6 мм и содержит 90 витков медного провода.

Катушка контура I смонтирована на текстолитовой пластине размером  $90 \times 60$  мм. На пластмассовый каркас длиной 60 мм с прямоугольным сечением  $40 \times 30$  мм намотано 40 витков провода диаметром 1,2 мм. Отвод сделан от 16-го витка. Выводы от катушки припаяны к штекерам. В контуре применен малогабаритный конденсатор переменной емкости (конденсатор типа «Тесла» емкостью 30—700 пф, две секции соединены параллельно). С контуром I генератор перекрывает диапазон 0,95—2,4 Мгц, если к зажимам подключен либо ультразвуковой излучатель, либо конденсатор емкостью 1000 пф. Погрешность шкалы прибора порядка 2%.

Контур II состоит из полувитка, смонтированного на пластинке из оргстекла. На этой же пластинке укреплены

два зажима для подключения контура связи и двухпроводной линии.

Выходная мощность генератора около 1 вт.

### Ход работы

1. Собирают колебательный контур из катушки, кюветы-конденсатора с наибольшей емкостью без диэлектрика и из индикатора резонанса (неоновая лампа МН-5). Подносят катушку контура на расстояние 4—8 см к включенному генератору. При этом оси катушек контура и генератора должны быть параллельными. Изменением частоты генератора добиваются резонанса, что устанавливают по свечению неоновой лампы. Резонанс устанавливают не менее пяти раз вращением ручки частоты генератора как по часовой, так и против часовой стрелки. Записывают резонансную частоту  $f_1$  по показаниям шкалы.

2. Наливают бензол в кювету-конденсатор и вновь добиваются резонанса при новой частоте  $f_2$ .

В этой работе возможны такие данные:

$$f_1 = 1,47 \text{ Мгц}, f_2 = 0,97 \text{ Мгц}.$$

Погрешности измеренных величин определяются погрешностью градуировки шкалы генератора и изменением его параметров в зависимости от колебаний сетевого напряжения. Величина этих погрешностей будет порядка 2%.

$$\epsilon' = 2,3 \pm 0,1.$$

Определение индуктивности резонансным методом можно предложить в таком варианте. Колебательный контур собирают из катушки, конденсатора со шкалой и индикаторной лампы. Добиваются резонанса либо путем изменения емкости конденсатора, либо изменением частоты генератора (в этом случае можно применить конденсатор постоянной емкости порядка 150 пф).

Поскольку  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , то  $L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$ :

Так, например, при  $f = 10^6$  гц,  $C = 350 \cdot 10^{-12}$  ф,  $L = 73 \cdot 10^{-6}$  гн  $\pm \pm 1 \times 10^{-6}$  гн.

Если подсчитать индуктивность катушки по формуле

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l},$$

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума),  $N$  — число витков катушки, то при диаметре, равном  $18 \cdot 10^{-3}$  м, длине  $150 \cdot 10^{-3}$  м и числе витков 188 получим, с учетом погрешностей, величину, близкую к найденной ранее

$$L = 75 \cdot 10^{-6} \text{ гн} \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ гн}.$$

Введение небольшого ферритового сердечника изменяет индуктивность катушки. В этом случае нельзя подсчитать индуктивность по формуле, однако ее можно определить резонансным методом.

## РАБОТА № 22 | ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

Двухпроводная линия представляет собой два прямолинейных параллельных проводника, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга. Если на одном конце линии, на входе, возбудить колебания высокой частоты, то в линии будут распространяться электромагнитные волны. Пусть линия на другом конце разомкнута, тогда электромагнитные волны доходят до конца проводов и отражаются. В результате сложения встречных волн образуются стоячие волны. В стоячей волне чередуются узлы и пучности тока, а также узлы и пучности напряжения. Пучности тока совпадают с узлами напряжения, в чем легко убедиться на опыте. Так как на входе линия всегда замкнута, то здесь всегда будет пучность тока. В разомкнутой линии образуются интенсивные стоячие волны, если на разомкнутом конце будет узел тока, т. е. если длина линии будет равняться нечетному числу четвертей волн (рис. 79). При другой длине линии интенсивность стоячих волн будет меньше.

В закороченной линии тоже возникают стоячие волны, однако на закороченном конце будет уже не узел, а пучность тока. А на входе линии всегда пучность тока. Следовательно, чтобы стоячие волны были интенсивными, длина линии должна равняться четному числу четвертей волн (рис. 80).

Двухпроводную линию можно применить для определения частоты электрических колебаний генератора, если эта частота будет порядка десятков и сотен мегагерц. При час-

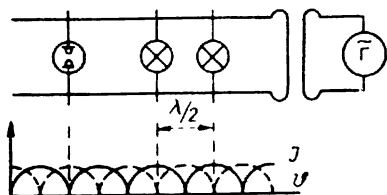


РИС. 79.

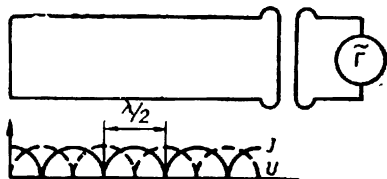


РИС. 80.

тотах в сотни мегагерц емкости и индуктивности колебательных контуров будут настолько малы, что их роль могут выполнять небольшие проводники. Таким образом, двухпроводная линия является цепью, в которой равномерно распределены по всей длине сопротивление, емкость и индуктивность. Поскольку вход линии закорочен, то для частот в сотни мегагерц закороченный конец будет являться «катушкой» связи, в которой возникнут электрические колебания, если она будет расположена вблизи колебательного контура генератора высокочастотных колебаний. В этом случае в линии конечных размеров устанавливаются стоячие волны. Пучности тока можно обнаружить при перемещении вдоль линии лампы накаливания, выводы которой соединены с проводниками, скользящими по проводам линии. В пучностях тока лампа ярко загорается (рис. 79).

Пучности тока легко обнаружить и другим путем. Если разорвать линию на входе и включить в месте разрыва лампу накаливания, то при перемещении короткозамкнутой перемычки вдоль линии лампа будет ярко загораться, когда перемычка окажется в пучностях тока.

Пучности напряжения обнаруживаются с помощью неоновой лампы, которая горит вблизи пучностей напряжения при ее перемещении вдоль линии. Лампа гаснет вблизи узлов напряжения, которые совпадают с пучностями тока.

Частоту генератора  $f$  определяют из следующих соображений. Скорость распространения электромагнитных волн вдоль линии равна скорости света  $c$ . Значит,  $f = \frac{c}{\lambda}$ ,

где  $\lambda$  — длина волны, которая равна удвоенному расстоянию между узлами (пучностями) тока или напряжения.

Для выполнения работы необходимы следующие приборы и оборудование (рис. 81): генератор высокочастотных колебаний, блок питания, двухпроводная линия, вилка с

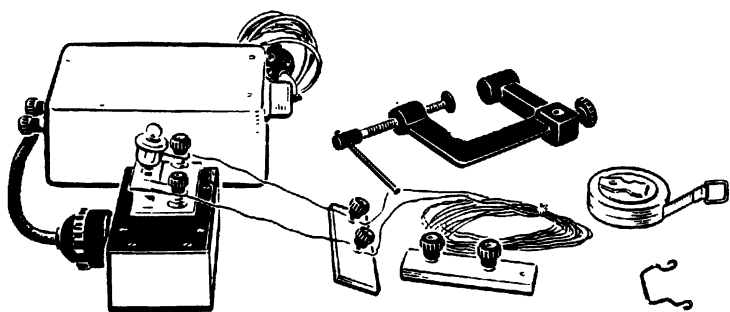


РИС. 81.

патроном, в который ввертывается лампа накаливания на 3,5 в, два штатива с принадлежностями, две струбцинки, рулетка.

### Ход работы

Колодки двухпроводной линии зажимают в лапках штативов. При этом провода линии натягивают, а штативы закрепляют струбцинками на демонстрационном столе или на двух ученических столах. Включают вилку с лампой накаливания в разрыв линии на входе (рис. 81). Включают генератор в сеть. Лампа загорается, если линия на конце разомкнута, а ее длина равна нечетному числу четвертей волн или если линия на конце замкнута, а ее длина равна четному числу четвертей волн. В других случаях лампа не горит. Однако опыт можно проводить и в этих случаях.

Замыкают цепь перемычкой (металлическим стержнем) вблизи входа (провода линии должны быть тщательно зачищены наждачной бумагой). Перемещают перемычку вдоль линии, оставляя ее все время перпендикулярной к проводам линии. Замечают положения перемычки, при которых лампа горит наиболее ярко. Очевидно, это будут пучности тока. Рулеткой определяют расстояние  $l$  между пучностями тока. Измерения проводят не менее пяти раз.

В одном из опытов были получены следующие значения:

$$l = 105 \text{ см}, 103 \text{ см}, 104 \text{ см}, 105 \text{ см}, 106 \text{ см}, 106 \text{ см};$$

$$l = 104 \text{ см} \pm 1 \text{ см}.$$

Относительная погрешность частоты получается около 1%.

$$f = 144 \text{ Мгц} \pm 2 \text{ Мгц}.$$

Если взять линию длиннее, то можно повысить точность измерений за счет увеличения числа отсчетов пучностей тока.

Возможен другой вариант. Линию подключают к контуру связи, а вилку с лампой перемещают вдоль линии. Лампа будет загораться в пучностях тока, отмеченных ранее.

## 23

РАБОТА №

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА

Скорость ультразвука в жидкости можно определять различными способами. Воспользуемся методом ультразвукового интерферометра. Если на некотором расстоянии от колеблющейся кварцевой пластинки расположить плавно перемещающийся рефлектор (отражатель) с плоской поверхностью, параллельной поверхности излучающей пластины, то ультразвуковая волна, отражаясь от рефлектора, вновь попадет на излучающую пластину. Таким образом, между пластиной и рефлектором распространяются две встречные волны одинаковой частоты, в результате сложения которых возникают стоячие волны. Если расстояние между пластиной и рефлектором равно целому числу полуволн, то пластина почти не колеблется, мощность излучения незначительна. При изменении расстояния на четверть длины волны пластина колеблется с наибольшей амплитудой, и в этом случае наблюдается наибольшая мощность ультразвука. Таким образом, при перемещении рефлектора периодически меняется мощность излучения, а это создает в цепи излучателя периодическое изменение тока, которое можно зафиксировать. Если при перемещении рефлектора отсчитать  $n$  максимумов тока и определить расстояние  $l$ , на которое переместится рефлектор, то, зная частоту колебаний  $f$  пластины излучателя, можно определить скорость звука в среде.

В самом деле, на пути  $l$  укладывается  $n$  полуволн, или  $\frac{n}{2}$  длин волн; значит, длина волны  $\lambda = l: \frac{n}{2} = \frac{2l}{n}$ .

Так как  $v = \lambda f$ , то  $v = \frac{2l}{n} f$ .

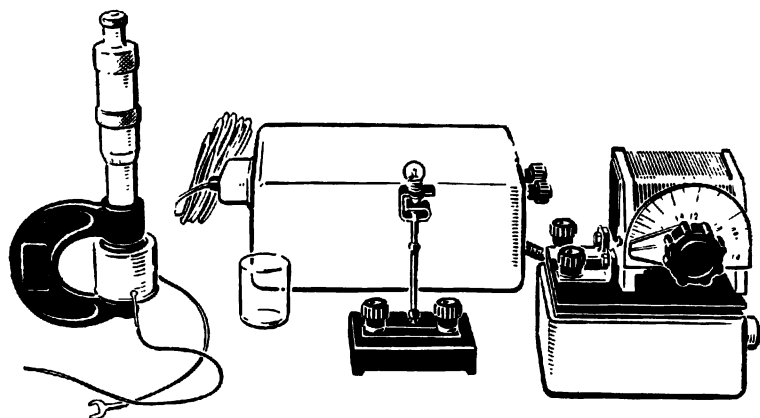


РИС. 82.

Для проведения опытов необходимо следующее оборудование (рис. 82): генератор высокочастотных колебаний, блок питания, ультразвуковой излучатель, микрометр, лампа на стойке (3,5 в), а также авометр, исследуемая жидкость (вода, спирт, глицерин), провода.

Ультразвуковой излучатель состоит из основания *A*, крышки *B*, излучающей пластины *B*, стакана *Г* (рис. 83 и 84). При сборке излучателя в алюминиевое основание вставляется плексигласовая шайба высотой 8 мм, имеющая отверстие вдоль оси (диаметр 5 мм) и боковое отверстие диаметром 4 мм. Через отверстия проходит провод, который припаивается к латунной шайбе. Через крышку и латунную шайбу осуществляется контакт с излучающей пластинкой, которой является пьезокерамическая пластинка диаметром 20 мм и толщиной 1,8 мм. Излучатель крепится на нижнем выступе микрометра, который удерживается лапкой штатива в вертикальном

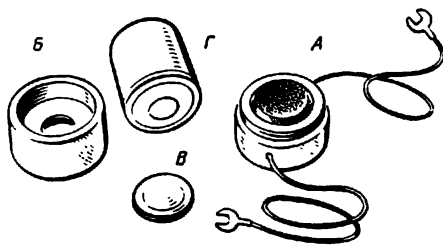


РИС. 83.

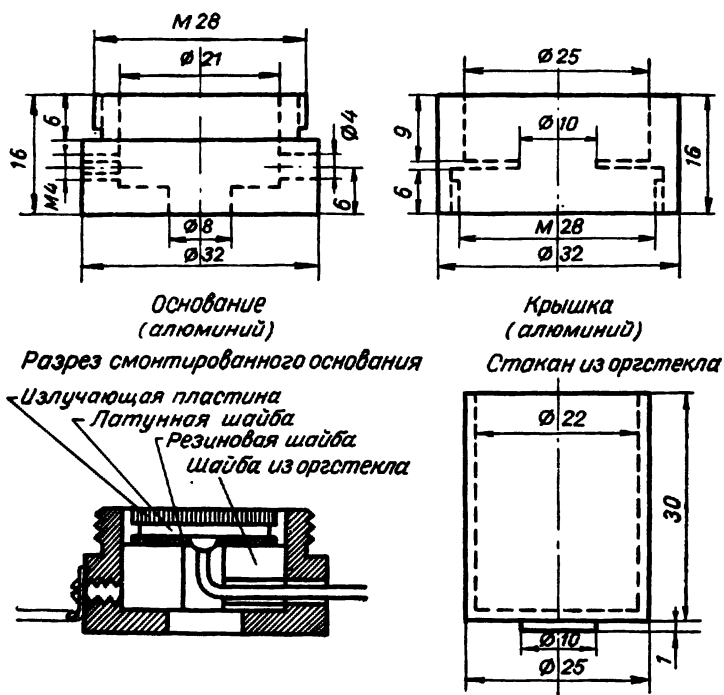


РИС. 84.

положении. Рефлектором служит основание цилиндрического подвижного стержня микрометра.

Стакан из оргстекла может вставляться в крышку излучателя.

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 85. Наливают исследуемую жидкость в сосуд излучателя и включают блок питания. После прогрева лампы генератора стрелка авометра отклонится, лампочка загорится, а на поверхности жидкости в результате излучения ультразвука появится заметная рябь. Устанавливают частоту 1—1,2 Мгц.

Вращением ручки опускают стержень микрометра в жидкость и замечают показания микрометра при наиболь-



шем (или наименьшем) отклонении стрелки прибора. Опуская стержень микрометра, отсчитывают 10 максимумов показаний авометра; при последнем максимуме замечают значение шкалы микрометра. Измерения проводят несколько раз (менее эффективный отсчет можно вести по изменению накала лампочки).

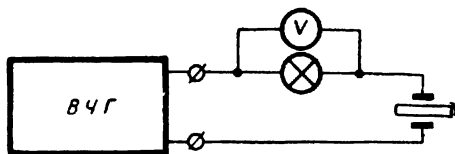


рис. 85.

В одном из опытов для спирта были получены следующие результаты:  $n=10$ ,  $f=1,15 \text{ МГц} \pm 0,03 \text{ МГц}$ ,  $l=5,10 \times 10^{-3} \text{ м} \pm 0,01 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Относительная погрешность будет порядка 3%.

$$v = 1,18 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \pm 0,04 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

Скорость ультразвука можно определить и другим способом. Воспользуемся опять зависимостью  $v=\lambda f$ .

Для определения  $\lambda$  можно использовать свойство ультразвука коагулировать частицы крахмала, взвешенные в воде. Расстояние между полосками коагулированных частиц должно равняться половине длины волны.

Для выполнения опыта необходимо следующее оборудование: генератор высокочастотных колебаний, блок питания, ультразвуковой излучатель, плексигласовый стакан, крахмал, вода.

### Ход работы

Подключают излучатель к генератору высокочастотных колебаний. В сосуд излучателя вставляют плексигласовый стакан. Между пластиной излучателя и стаканом должно быть 2—3 капли масла или воды. Наливают в стакан воду со взвешенным крахмалом (0,3 г крахмала на 10 мл воды).

Включают генератор. Через 1—2 мин в стакане появляются горизонтальные полоски коагулированных частиц в узлах волн. Подсчитывают число полосок, которые укладываются на расстоянии 20 мм (по поверхности стакана нанесены кольцевые риски через 10 мм). Взбалтывают воду и снова выполняют опыт и подсчеты при той же частоте.

Опыт прделывают несколько раз, меняя при этом воду с крахмалом.

На расстоянии 20 мм укладываются приблизительно 30 полосок. По этим данным легко определить длину волны и скорость ультразвука в воде:

$$f = 1,15 \text{ Мгц} \pm 0,03 \text{ Мгц}, \quad \lambda = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \pm 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$v = 1,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \pm 0,2 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{сек}},$$

## РАБОТА № 24 | ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА

В работе предусмотрено два способа определения частоты колебаний звукового генератора.

Пусть громкоговоритель излучает звуки с частотой  $f$ . Поместим на расстоянии  $l$  микрофон (рис. 86).

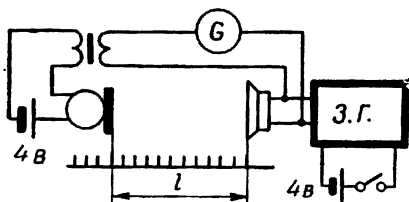


РИС. 86.

Если  $l$  равно целому числу длин волн, то в микрофоне будут возбуждаться колебания, совпадающие по фазе с колебаниями громкоговорителя. Если передвинуть микрофон или громкоговоритель вдоль линии распространения звука на  $\lambda/2$ , то, очевидно, колебания в микрофоне и громкоговорителе будут сдвинуты на  $\pi$ . И вообще говоря, сдвиг фаз будет меняться все время при движении микрофона в сторону громкоговорителя. Таким образом, если подобрать способ регистрации сдвига фаз между колебаниями в цепи громкоговорителя и в цепи микрофона, то можно зафиксировать положения,

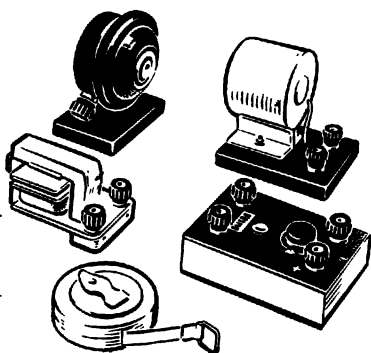


РИС. 87.

в которых колебания будут совпадать по фазе, т. е. можно отмерять расстояния, равные длине волны. Одним из таких способов может быть метод сложения колебаний, подаваемых на один и тот же гальванометр.

Для выполнения опыта необходимы (рис. 87): лабораторный звуковой генератор (см. работу № 12), лабораторный трансформатор (см. работу № 13), громкоговоритель на панели, угольный микрофон на панели, рулетка, а также аккумулятор, провода, авометр.

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 86.

1. Перемещением громкоговорителя вблизи микрофона добиваются наименьшего показания гальванометра. Замечают и записывают расстояние  $l_1$ , на котором установлен передний или задний обрез подставки громкоговорителя. Медленно удаляют громкоговоритель от микрофона, следя одновременно за показаниями гальванометра, которые периодически увеличиваются и уменьшаются. Отсчитывают пять минимумов показаний прибора. Записывают значение шкалы рулетки  $l_2$  при пятом минимуме гальванометра. В этом случае  $l = l_2 - l_1 = 5\lambda$ .

2. Опыты и измерения по пункту 1 проделывают не менее пяти раз. Данные всех измерений заносят в таблицу, по которой подсчитывают среднее значение  $l$ .

Возможны такие результаты:

$$n=5, \quad l=0,636 \text{ м} \pm 0,003 \text{ м}, \quad v=340 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

$$\text{Так как } f = \frac{v}{\lambda}, \text{ а } \lambda = \frac{l}{n}, \text{ то } f = \frac{vn}{l}.$$

$$f=2,67 \text{ кгц} \pm 0,01 \text{ кгц}.$$

Длину звуковой волны и частоту колебаний звукового генератора можно найти другим способом. Пусть на расстоянии  $l = 2n_1 \frac{\lambda}{4}$  от громкоговорителя расположен экран, где  $n_1 = 1, 2, 3, \dots$  (рис. 88). Тогда наблюдается максимальное отражение звука от экрана. В самом деле, непосредственно около громкоговорителя всегда будет пучность звука, значит, на расстоянии в целое число полуволн экран попадет в пучность. При перемещении экрана на четверть

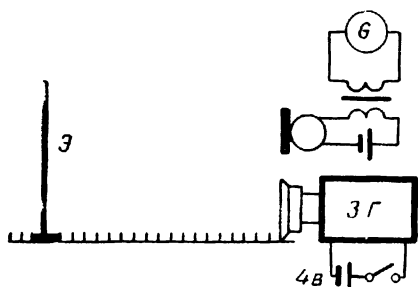


РИС. 88.

длины волны вдоль  $l$  интенсивность отраженного звука уменьшится до минимума. Это изменение можно зафиксировать гальванометром в цепи микрофона, расположенного около громкоговорителя. Если экран переместить на  $l = n_1 \frac{\lambda}{2}$ , то  $\lambda = \frac{2l}{n_1}$ , но  $f = \frac{v}{\lambda}$ ,

значит,  $f = \frac{vn_1}{2l}$ . (Вообще говоря, можно оставить неподвижным экран, а вдоль него перемещать микрофон или громкоговоритель.)

Итак, для проведения опыта к ранее перечисленному оборудованию следует добавить экран.

### Ход работы

Установку собирают по рисунку 88.

1. Перемещением экрана вблизи громкоговорителя добиваются наименьшего показания гальванометра. Записывают значение шкалы рулетки  $l_1$ , у которого расположен экран. Отодвигая экран вдоль  $l$ , отсчитывают 6—10 минимумов показаний прибора. При последнем минимуме замечают и записывают значение шкалы  $l_2$ . Очевидно,  $l = l_2 - l_1$ .

2. Прodelывают опыты и измерения по пункту 1 не менее пяти раз. Данные заносят в таблицу, по которой подсчитывают среднее значение  $l$ , а затем определяют частоту колебаний генератора.

Во всех опытах вместо гальванометра можно применять головные телефоны или осциллограф.

В одном из опытов были получены такие результаты:

$$n_1 = 6, \quad l = 0,385 \text{ м} \pm 0,002 \text{ м}, \quad v = 340 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

Относительная погрешность будет около 1%.

$$f = 2,65 \text{ кгц} \pm 0,02 \text{ кгц}.$$

В настоящее время наибольшее распространение получили три вида записи и воспроизведения звука: механическая магнитная и фотоэлектрическая. В предлагаемой работе рассматриваются магнитная запись и воспроизведение.

Одной из основных деталей магнитной записи является магнитофонная головка, представляющая собой тороидальный железный сердечник с обмоткой. В сердечнике имеется зазор порядка сотых долей миллиметра. Усиленные колебания звуковой частоты с выхода электрического усилителя подаются в обмотку магнитофонной головки, в результате чего в зазоре сердечника возникает переменное магнитное поле звуковой частоты. На движущейся около зазора магнитофонной ленте фиксируются сигналы переменного магнитного поля за счет остаточного намагничивания ферромагнитного материала, которым покрыта лента. Так осуществляется запись звука. Для воспроизведения звука применяется аналогичная головка. При этом лента, двигаясь около зазора головки, за счет различного остаточного намагничивания меняет поле внутри сердечника. В результате изменения магнитного поля внутри сердечника в обмотке головки возникает э. д. с., меняющаяся с записанной на ленте звуковой частотой. Эта э.д.с. подается на вход усилителя. Усиленный сигнал прослушивается с помощью головных телефонов (рис. 89).

Для проведения опытов необходимо следующее оборудование (рис. 90): тянущий барабан *A*, магнитный датчик *B*, натяжной ролик *B*, лабораторный усилитель (см. работу № 12), динамический микрофон, головные телефоны, постоянный магнит, штатив с принадлежностями, четыре кольца магнитофонной ленты, на которых записаны звуки с различной частотой и громкостью и фраза.

Тянущий барабан смонтирован на тек-  
столитовой панели размером  $100 \times 80$  мм.

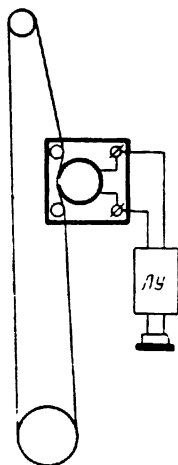


РИС. 89.

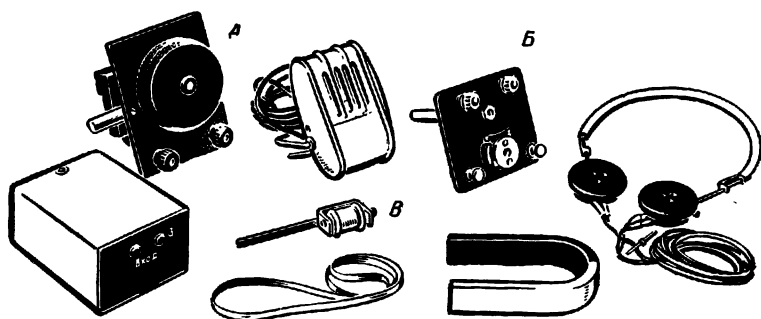


РИС. 90.

Диск диаметром 60 мм и толщиной 18 мм с бортиком шириной 2 мм насажен на ось синхронного двигателя переменного тока, делающего 60 оборотов в минуту (мотор Уоррена). Панель имеет стержень для крепления блока в муфте штатива.

Магнитный датчик монтируют на текстолитовой панели размером 80×70 мм, к которой прикрепляют универсальную магнитофонную головку, два направляющих ролика (цилиндрика с бортиками) и выходные зажимы, а также стержень для крепления в муфте штатива.

Натяжной ролик представляет собой цилиндр диаметром 16 мм, длиной 17 мм с бортиками, выступающими на 2 мм. По оси цилиндра имеются конические выступы. Цилиндр удерживается в металлической скобе и может свободно вращаться вокруг своей оси. К скобе припаяна упругая пластинка, обеспечивающая равномерное натяжение магнитофонной ленты.

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 91. Для воспроизведения звука с магнитофонной ленты магнитный датчик включают на вход усилителя, а к выходу подключают телефон (рис. 89). Прослушивают записи на кольцах и сравнивают сигналы по силе звука и высоте тона.

Прослушивают фразу, записанную на кольце, и стирают ее приложением полюса постоянного магнита к движущейся ленте.

Для записи звука на магнитофонную ленту магнитный датчик включают на выход усилителя. Ко входу лабораторного усилителя подключают динамический микрофон. Придумывают фразу, укладываемую на кольцо, записывают ее и прослушивают запись.

В случае неудачи запись стирают и вновь записывают фразу.

Чтобы обогатить содержание работы, целесообразно включить в нее опыты записи и воспроизведения электрических импульсов. Для этой цели понадобятся авометр, источник постоянного тока (3 в), выключатель. Собрав установку по рисунку 91, к зажимам магнитного датчика подключают провода, идущие через выключатель от источника тока. Пускают электродвигатель и кратковременно замыкают выключатель два-три раза. Затем переключают установку на воспроизведение звука. Вместо телефона на выход усилителя подключают авометр. При включенном электродвигателе будут наблюдаться отбросы стрелки авометра, когда мимо головки будут проходить участки магнитофонной ленты, на которых записаны электрические импульсы.

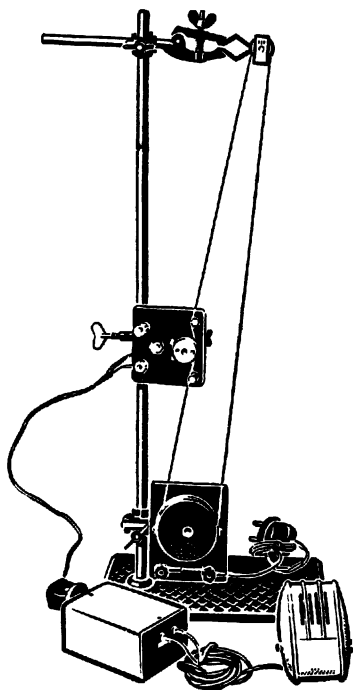


РИС. 91.

Фоторезисторы типа ФС-КО изготовлены из сернистого кадмия. Светочувствительный полупроводник в виде диска прикреплен к стеклянной пластинке, на края которой нанесен токопроводящий слой.

Фоторезисторы характеризуются рядом величин: световой характеристикой (зависимость фототока от величины светового потока при неизменном напряжении в цепи фоторезистора), вольтамперной характеристикой, спектральной чувствительностью, рабочим напряжением (для ФС-КО максимальное рабочее напряжение 300 в), темновым сопротивлением и др. Лабораторной работой предусмотрено изучение двух первых характеристик.

При изучении зависимости фототока от величины светового потока  $\Phi$  можно воспользоваться тем условием, что характер зависимости не изменится, если заменить значение светового потока  $\Phi$  величиной, пропорциональной  $\Phi$ . Такой величиной может быть освещенность  $E$ , так как

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad \text{где}$$

$S$  — площадь — величина постоянная; значит,  $\Phi \sim E$ . Но  $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ , где  $I$  — сила света источника;  $r$  — расстояние от источника света до фоторезистора;  $\alpha$  — угол падения лучей света.

При постоянных значениях  $I$  и  $\alpha$  световой поток, падающий на фоторезистор, пропорционален обратной величине квадрата расстояния  $r$ , т. е.  $\Phi \sim \frac{1}{r^2}$ . А это значит, что можно изучить зависимость силы фототока  $I_\Phi$  от  $\frac{1}{r^2}$ , которая будет иллюстрировать зависимость  $I_\Phi$  от  $\Phi$ .

Если не менять расстояние  $r$  и силу света  $I$ , то можно проследить изменение фототока  $I_\Phi$  от угла падения света на фоторезистор.



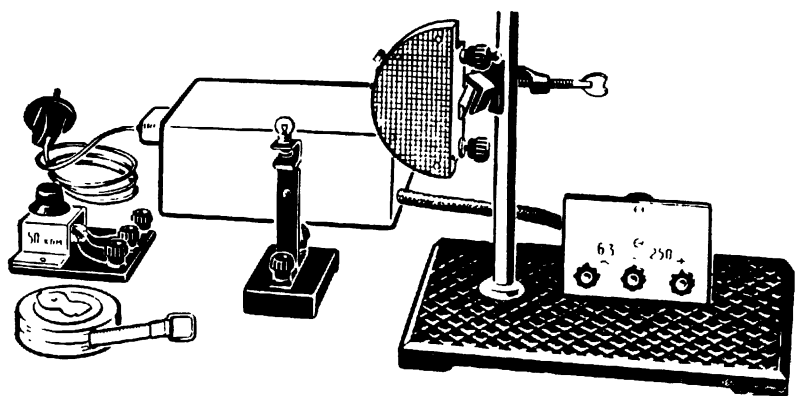


РИС. 92.

Для проведения опытов потребуются следующие приборы и оборудование (рис. 92): блок питания с колодкой, фоторезистор с кожухом, потенциометр (50 ком), лампочка 6,3 в на стойке, рулетка, штатив, а также авометр и провода.

Фоторезистор ФС-КО вставляют в гнездо основания А (рис. 93). Он удерживается упругими изогнутыми латунными полосками, которые в собранном виде имеют контакты с зажимами Б. К основанию А привинчен стальной стержень В, служащий для установки фоторезистора в муфте штатива.

Кожух Г служит для экранирования фоторезистора от постороннего света. В бортике кожуха просверлены три отверстия диаметром 7 мм. Отверстия могут закрываться резиновыми пробками Д. Отверстия сделаны так, чтобы свет через них мог падать на фоторезистор под углами 0°, 30°, 45°. Радиус кожуха 4 см.

При сборке прибора винты зажимов Б пропускаются через отверстия основания и ввертываются в гнезда с резь-

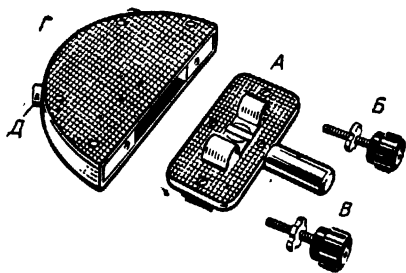


РИС. 93.

бой кожуха. Таким образом основание прикрепляется к кожуху.

### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 94. Устанавливают на авометре предел измерения постоянного тока  $0,5 \text{ ма}$ . Включают блок питания в сеть. Открывают центральное отверстие в кожухе фоторезистора. Лампу накаливания устанавливают на расстоянии  $r=25 \text{ см}$  от фоторезистора. Расстояние  $r$  отсчитывают от нити накала лампочки до середины основания, на котором укреплен фоторезистор. Перемещением муфты штатива вдоль стойки и вращением прибора на стержне в муфте добиваются такого положения, чтобы фоторезистор находился над столом на одинаковом уровне с лампочкой и чтобы ось, соединяющая центр фоторезистора с центром открытого отверстия, была направлена на лампочку. Этого легко добиться по наибольшему отклонению стрелки авометра.

Вращением ручки потенциометра устанавливают ток  $0,5 \text{ ма}$ . Затем отодвигают лампочку на расстояния 30, 35, 40, 45, 50 см от фоторезистора, замечая каждый раз значение фототока. Результаты измерений заносят в таблицу. Подсчитывают величину, обратную квадрату расстояния. Возможны, например, такие значения:

$r,$	$\text{см}$	25	30	35	40	45	50
$I_{\text{ф}},$	$\text{ма}$	0,5	0,37	0,29	0,24	0,21	0,185
$E = k \frac{1}{r^2}$		1,6	1,1	0,81	0,62	0,49	0,4

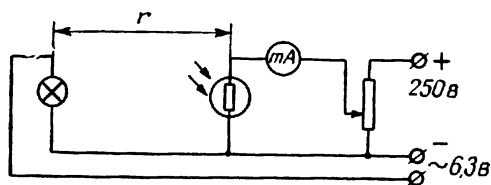


РИС. 94.

В нашем случае не менялись сила света источника и угол падения лучей, тогда  $E = k \frac{1}{r^2}$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности, который можно выбрать равным  $10^3$ . Тогда освещенность будет измеряться в отвлеченных единицах. Теперь можно построить график зависимости фототока  $I_{\phi}$  от освещенности  $E$  (рис. 95).

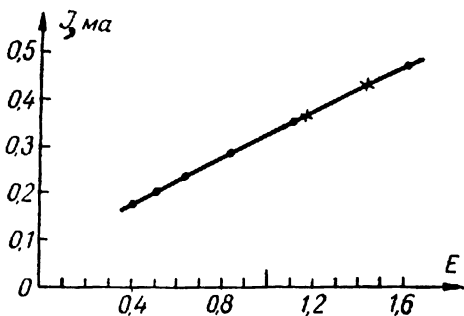


рис. 95.

2. Устанавливают лампочку на расстоянии 25 см от фоторезистора. Закрывают пробкой центральное отверстие, но открывают другое, которое направляет световой поток под углом  $30^\circ$  на фоторезистор. Поворотом прибора в муфте штатива добиваются наибольшего отклонения стрелки. Замечают значение фототока. Затем находят фототок для случая, когда свет падает на фоторезистор под углом  $45^\circ$  (для этого свет пропускают через последнее отверстие в кожухе). Возможны такие данные:

$$\alpha_1 = 30^\circ, I'_{\phi} = 0,45 \text{ ма}; \quad \alpha_2 = 45^\circ, I''_{\phi} = 0,38 \text{ ма}.$$

На расстоянии 25 см при  $\alpha = 0^\circ$  освещенность  $E = 1,6$  единицам, тогда

$$E' = E \cos \alpha_1 = 1,6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 1,39,$$

$$E'' = E \cos \alpha_2 = 1,6 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1,13.$$

На рисунке 95 точки  $E'$  (1,39),  $I'_{\phi}$  (0,45) и  $E''$  (1,13),  $I''_{\phi}$  (0,38), отмечены крестиками. Они хорошо согласуются с графиком.

Для изучения зависимости фототока от напряжения потребуется вольтметр (авометр) постоянного тока, который подключается к зажимам потенциометра. Перемещением ползунка потенциометра изменяют напряжение от 0 до 250 в, отсчитывая при этом несколько значений напряжений

и соответствующего ему тока. По данным отсчетов строят график. Графики можно построить для разных освещенностей фоторезистора.

## РАБОТА № 27 | СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Для спектрального анализа в работе применяется прибор, состоящий из двух частей: источника света и спектроסקопа.

Источник света служит для создания светящихся паров металлов и зажигания спектральных трубок. На схеме (рис. 96) буквой *H* обозначены металлические стержни, между которыми имеется зазор порядка 0,3 мм. Когда прибор подключают к переменному току напряжением около 600 в, то в зазоре возникает электрический разряд. Рассматривая разряд через школьный спектроскоп, можно наблюдать линейчатый спектр паров металла, из которого сделаны стержни.

Сопротивление  $R=500 \text{ ком}$  служит для того, чтобы разрядить конденсатор  $C_1$  при отключении прибора. При замыкании ключа  $K$  в контуре  $L_1C_2$  возникают высокочастотные колебания, а в катушке  $L_2$  индуцируется напряжение более 10 кв. Это обеспечивает горение спектральных трубок, подключенных к точкам *A* и *B*;  $\Pi$  — искровой промежуток длиной порядка 6 мм. Катушки  $L_1$  и  $L_2$  намотаны на одном каркасе виток к витку. Катушка  $L_1$  содержит 200 витков провода ПЭЛ-0,2, катушка  $L_2$  — 1500 витков провода ПЭЛ-0,15. Между слоями катушек проложен изолятор.

Конструктивно источник света оформлен в варианте, показанном на рисунке 97. На пластмассовом основании  $I$  монтируются механизм сближения стержней и остальные

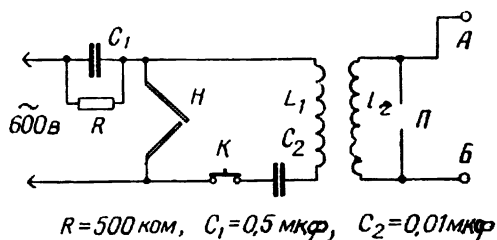


РИС. 96.

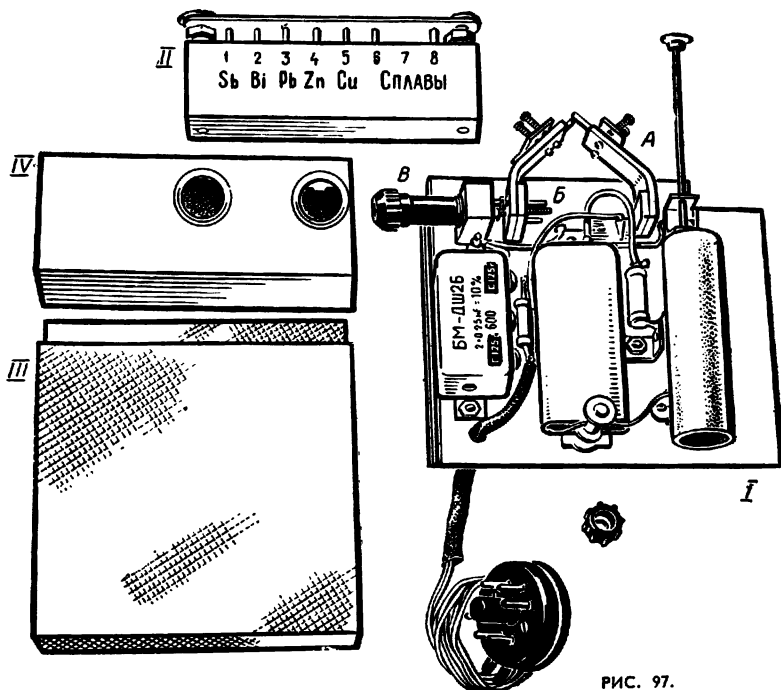


РИС. 97.

детали (размер основания  $120 \times 90$  мм). Держатели стержней *A* изготовлены из латуни. Правый держатель наглухо привинчен к основанию. Левый — перемещается по направляющим *B* диаметром 3 мм. В держателе нарезается резьба М4, в которую ввертывается винт подачи *B*. Винт проворачивается во втулке металлического бруска, привинченного к пластмассовому основанию. В металлическом бруске укрепляются и направляющие. Винт подачи слева имеет ручку, с помощью которой регулируется зазор между стержнями из исследуемого материала.

Справа на основании укреплен пластмассовый канал, в который вставляют спектральную трубку. Снизу в канале имеется контакт, идущий от одного конца катушки  $L_2$ . Второй конец катушки соединен с выступающим стержнем, который может перемещаться вверх и вниз. При перемещении стержня вверх до упора замыкается кнопка *K*, смонтированная под пластмассовым каналом.

Стержни изготовлены в виде цилиндров диаметром 3 мм и длиной 30 мм. В держателях они устанавливаются так, чтобы основание одного стержня располагалось против боковой поверхности другого. Это обеспечивает большую устойчивость горения дуги. Для хранения стержней применяется специальная кассета II.

Прибор прикрывают кожухом из пластмассы III. Для экранирования от рассеянного света применяют колпак IV.

Для проведения опытов потребуются приборы (рис. 98): источник света для спектрального анализа, кенотронный выпрямитель без кенотрона, спектроскоп, кассета со стержнями из металлов и сплавов, спектральные трубки.

Рассмотрим ход работы по определению элементов, входящих в состав данного сплава.

В держателях на расстоянии порядка 1 мм друг от друга укрепляют стержни из латуни (или любого другого сплава, входящего в набор), надевают крышку. Включают источники света. Винтом сближения подводят стержни до зазора порядка 0,3 мм, когда начинается разряд. Устанавливают коллиматор спектроскопа у отверстия в крышке против дуги. Небольшими перемещениями спектро-

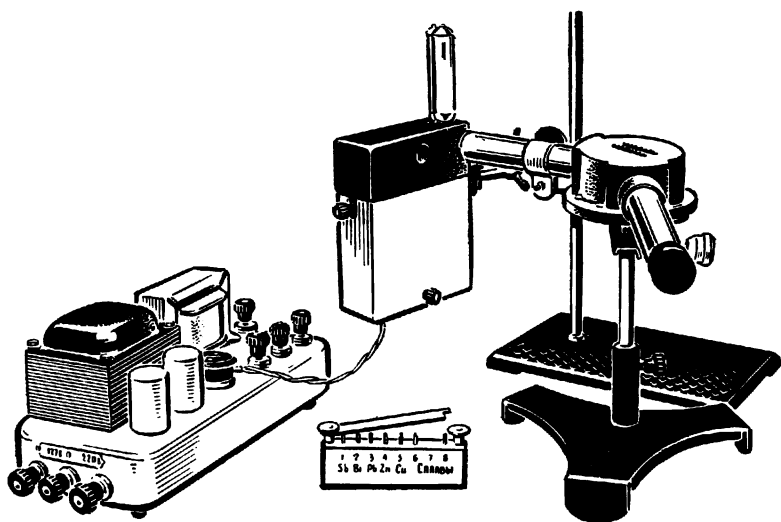


РИС. 98.

скопа добиваются четкой видимости спектра паров латуни.

Перемещением микрометрического винта спектроскопа добиваются совмещения визирного штриха последовательно со всеми линиями спектра. При каждом совмещении записывают показания микрометра.

При выключенном токе вместо стержней изучаемого сплава устанавливают стержни из чистого металла. Проводя наблюдения и отсчеты, аналогичные описанным, получают показания микрометра, соответствующие линиям спектра данного металла. Такие показания опытным путем получают для разных металлов.

Сравнивая показания микрометра для металлов с показаниями для сплава, обнаруживают определенные совпадения, по которым выясняют, какие металлы входят в состав данного сплава.

С перечисленным оборудованием, кроме описанной работы, можно выполнять и другие:

1. Построение кривой зависимости между показаниями микрометра данного спектроскопа и длинами световых волн (см. «Практикум по физике», под ред. А. А. Покровского. М., Учпедгиз, 1963).

2. Определение длин волн линий спектра для различных металлов и газов.

3. Обнаружение малых концентраций элементов в данном твердом образце.

## 28

РАБОТА №

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

В основу определения постоянной Планка можно положить явление фотоэффекта. Известно, что

$$h\nu = P + \frac{mv^2}{2}.$$

Если собрать цепь по рисунку 99, то перемещением контакта потенциометра можно добиться такого обратного напряжения на фотоэлементе, при котором анода не будут достигать даже самые быстрые электроны, вылетающие с ос-

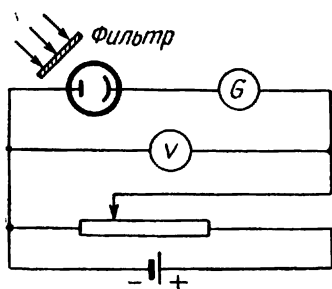


РИС. 99.

вещенного фотокатода. В этом случае справедливо соотношение:

$$eU = \frac{mv^2}{2},$$

где  $e$  — заряд электрона,  $U$  — напряжение записания. Подставляя в уравнение Эйнштейна значение  $eU$ , получим:

$$h\nu = P + eU.$$

Для различных фильтров

$$\begin{cases} h\nu_1 = P + eU_1, \\ h\nu_2 = P + eU_2. \end{cases}$$

Решая эту систему уравнений относительно  $h$ , получим:

$$h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}.$$

Но  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , следовательно,

$$h = \frac{e}{c} \frac{(U_1 - U_2) \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1},$$

где  $c$  — скорость света. Так как величины  $e$  и  $c$  постоянные, то экспериментально надо определить только разность потенциалов и длины волн.

Это можно сделать, применяя следующее оборудование (рис. 100): фотоэлемент СЦВ-4 с колпаком, фиолетовый и

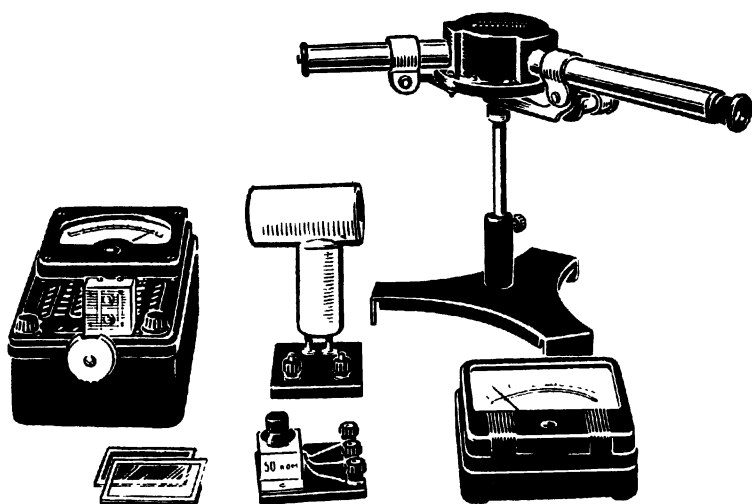


РИС. 100.



оранжевый фильтры, пропускающие полосы спектра с наименьшей длиной волны — 0,41 мк для фиолетового фильтра и 0,47 мк для оранжевого; спектроскоп, авометр, полупроводниковый усилитель к авометру, вольтметр (1 в), потенциометр (1,5 ком), а также аккумулятор, провода.

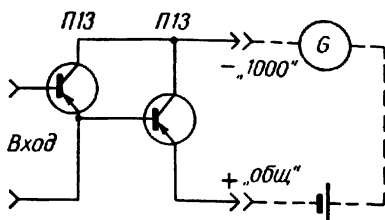


РИС. 101.

Усилитель к авометру служит для усиления постоянного тока. Он собран на двух транзисторах типа П13 (рис. 101). Коэффициент усиления прибора порядка 800.

Транзисторы смонтированы в корпусе из оргстекла размером 35×30×15 мм. Штекеры усилителя вставляются в гнезда авометра «Общ» и «1000». Входом являются гнезда усилителя. Авометр с усилителем применяется в качестве чувствительного гальванометра с высокоомным входом.

### Ход работы

Собирают цепь по рисунку 99 (при выполнении опыта желательно пользоваться рассеянным светом от окна). Поместив перед фотоэлементом оранжевый фильтр, медленно перемещают ползунок потенциометра, пока стрелка гальванометра не установится на нуле. Для более точного фиксирования момента запирания фотоэлемента время от времени перекрывают доступ света к фотоэлементу рукой или экраном и при этом перемещают ползунок потенциометра в сторону уменьшения напряжения. Таким образом устанавливают момент наименьшего напряжения, при котором стрелка гальванометра не перемещается при перекрывании света. Записывают значение напряжения запирания. Опыт проводят несколько раз. Находят среднее значение напряжения для второго фильтра. Значения наименьших граничных длин световых волн, пропускаемых фильтрами, определяют с помощью школьного спектроскопа и кривой зависимости между показаниями микрометрического винта спектроскопа и длинами световых волн.

Возможны такие значения напряжения запираания (в вольтах).

Для фиолетового фильтра: 0,76; 0,78; 0,78; 0,79; 0,78.

Для оранжевого фильтра: 0,4; 0,38; 0,37; 0,39; 0,38.

$$h = 7 \cdot 10^{-34} \text{ дж} \cdot \text{сек} \pm 10^{-34} \text{ дж} \cdot \text{сек}.$$

## РАБОТА № 29 | ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА К ЕГО МАССЕ

В работе предусмотрено два способа определения удельного заряда электрона. В каждом из способов применяется электроннолучевая трубка.

### 1-й способ (метод Буша)

Рассмотрим движение электрона от вертикально отклоняющих пластин до экрана трубки. Если к пластинам приложена разность потенциалов, то электрон, отклонившись, попадет в точку *C* (рис. 102). Разложим скорость электрона в любой точке пути *AC* на две составляющие:  $v_2$  — составляющая скорости, направленная перпендикулярно оси,  $v_1$  — составляющая скорости, параллельная оси трубки. Если создать магнитное поле вдоль оси (с помощью цилиндрической катушки, в которую вставляется электроннолучевая трубка), то оно будет действовать на составляющую скорости электрона перпендикулярную оси трубки. Изменяя величину магнитной индукции поля, можно добиться такого положения, когда за время движения от точки *A* до экрана

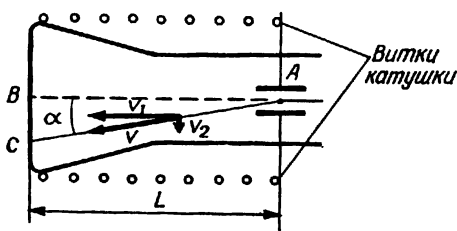


РИС. 102.

электрон сделает один оборот в плоскости, перпендикулярной оси трубки. Таким образом, проекция движения электрона на плоскость экрана представит собой окружность с радиусом

$$R = \frac{v_2 m}{eB}, \text{ где}$$

$e$  — заряд электрона;  $m$  — масса электрона;  $B$  — магнитная индукция поля. Это следует из того, что на электрон действует сила  $f = ev_2B$ , сообщающая электрону движение по окружности (сила Лоренца). Значит,

$$ev_2B = \frac{mv_2^2}{R}, \quad t = \frac{2\pi R}{v_2}.$$

Подставляя сюда значение радиуса, получим:

$$t = \frac{2\pi}{\frac{e}{m} \cdot B}. \quad (1)$$

Так как скорость вылета электрона с поверхности катода мала по сравнению со скоростью, приобретаемой электроном за счет приложенного напряжения  $U$  между катодом и анодом, то, пренебрегая скоростью вылета электрона с поверхности катода, можно написать:

$$\frac{mv_1^2}{2} = eU. \quad (2)$$

Движение электрона вдоль оси трубки является равномерным, значит, расстояние от  $A$  до  $B$  (от середины пластин до экрана)  $L = v_1 t$ . Подставляя сюда значение времени из формулы (1), получим:  $L = \frac{2\pi v_1}{\frac{e}{m} \cdot B}$ , но  $v_1 = v \cos \alpha$ . Угол

$\alpha$  мал и  $\cos \alpha$  можно принять равным единице, а скорость  $v_1$  приблизительно равной  $v$ , тогда

$$L = \frac{2\pi v}{\frac{e}{m} \cdot B}. \quad (3)$$

В результате сложения равномерного движения электрона вдоль оси и движения по окружности перпендикулярно оси трубки получается движение электрона по винтовой линии с шагом винта, равным расстоянию  $AB$ .

Из формулы (3) получим:  $\frac{e}{m} = \frac{2\pi v}{LB}$ . Подставляя значение скорости из уравнения (2), имеем:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{L^2 B^2}. \quad (4)$$

Так как в последнюю формулу значение угла не входит, то приходим к выводу, что фокусирование электронного

пучка в продольном магнитном поле не зависит от угла  $\alpha$ . Это дает возможность провести опыт следующим образом. Подать на отклоняющие пластины трубки переменное напряжение и получить на экране светящийся отрезок. Увеличивать ток в катушке и тем самым увеличивать магнитную индукцию поля. Это приведет к поворачиванию светящегося отрезка и уменьшению его размеров. Когда величина магнитной индукции станет такой, что шаг винта движения электронов будет равен  $AB$ , то на экране будет видна только светящаяся точка (при этом нужно зафиксировать силу тока). Известно, что магнитная индукция на оси катушки в системе СИ определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I n}{\sqrt{4r^2 + l^2}},$$

где  $I$  — сила тока в катушке;  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $r$  — радиус средних витков катушки;  $l$  — длина обмотки катушки;  $n$  — число витков катушки.

Подставляя в формулу (4) значение магнитной индукции, получим:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U (4r^2 + l^2)}{\mu_0^2 I^2 n^2 L^2}.$$

Для проведения опыта необходимо следующее оборудование (рис. 103): блок питания с колодкой, блок электронно-лучевой трубки, цилиндрическая катушка (число витков ка-

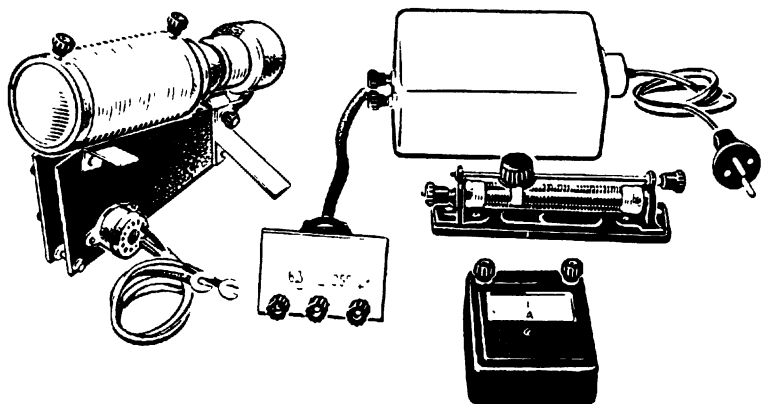


РИС. 103.

тушки написано на корпусе, см. работу № 11), авометр, амперметр (2а), реостат (10 ом), аккумулятор, ключ, провода.

### Ход работы

Собирают установку по рисунку 104.

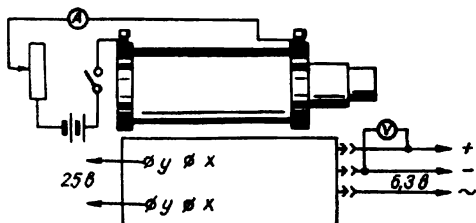


РИС. 104.

Включают питание трубки. На экране трубки появляется светящийся отрезок. Замыкают ключ и, перемещая ползунок реостата, добиваются того, чтобы отрезок на экране трубки сошелся в точку. Записывают показания амперметра и вольтметра.

Определяют радиус витков катушки и длину обмотки. Записывают значения измеренных величин с их погрешностями. Значение  $L$  дается учителем. Для трубки 5Л038  $L = 8,5 \text{ см} + 0,2 \text{ см}$ .

В результате проведения опытов могут получиться следующие данные:

$$r = 0,028 \text{ м} \pm 0,001 \text{ м},$$

$$l = 0,090 \text{ м} \pm 0,001 \text{ м},$$

$$U = 310 \text{ в} \pm 2 \text{ в},$$

$$I = 1,40 \text{ а} \pm 0,05 \text{ а}.$$

Число витков катушки

$$n = 273.$$

Относительная погрешность искомой величины может оказаться порядка 20%.

$$\frac{e}{m} = 1,6 \cdot 10^{11} \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{кг}} \pm 0,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{кг}}.$$

### 2-й способ

Если создать магнитное поле, перпендикулярное оси электроннолучевой трубки, то на электрон будет действовать сила Лоренца, вызывающая центростремительное ускорение (рис. 105). Значит,

$$\mu_0 e v H = \frac{m v^2}{R}, \quad (1)$$

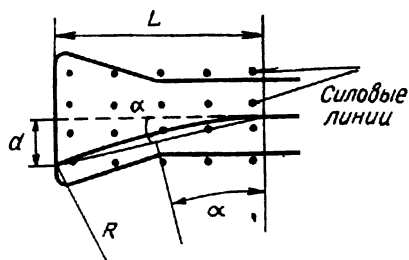


РИС. 105.

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $e$  — заряд электрона;  $v$  — скорость электрона;  $m$  — масса электрона;  $R$  — радиус траектории движения электрона. При малом угле  $\alpha$  смещение  $d$  электронного пучка на экране трубки будет  $d = L\alpha$  (2), где  $L$  — длина сечения прямоугольных катушек, которые создают магнитное поле.

В этом поле как раз и движется электрон.  $L = 2R\alpha$  (3). Из (2) и (3) получим:  $R = \frac{L^2}{2d}$  (4). Для электрона, вылетевшего с катода,

$$eU = \frac{1}{2} mv^2. \quad (5)$$

Решая совместно (1), (4), (5), получим:

$$\frac{e}{m} = \frac{8Ud^2}{\mu_0^2 H^2 L^4}.$$

Для определения напряженности магнитного поля воспользуемся тем обстоятельством, что период колебаний магнитной стрелки в одинаковых полях будет одинаковым (можно также применить соотношение  $H_1 T_1^2, H_2 T_2^2$ , см. работу № 11).

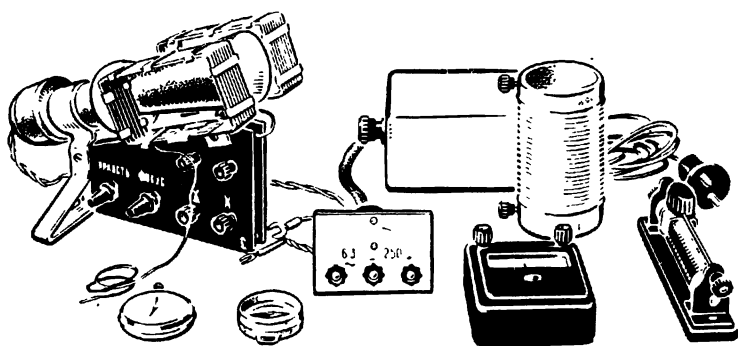


РИС. 106.

Для проведения опыта необходимо следующее оборудование (рис. 106): блок питания с колодкой, блок электроннолучевой трубки, цилиндрическая катушка, прямоугольные катушки, плексигласовая шкала с миллиметровыми делениями, вольтметр (500 в), амперметр (2 а), лабораторная магнитная стрелка (или компас), секундомер, аккумулятор, реостат (10 ом), ключ, провода.

Прямоугольные катушки имеют по 15 витков провода в хлорвиниловой изоляции. Катушки укреплены на алюминиевом каркасе размером  $90 \times 50$  мм при помощи алюминиевых полосок. Одни выводы катушек соединены друг с другом, на другие надеты наконечники. Катушки могут быть при помощи втулок надеты на уголки, привинченные к вертикальной панели блока электроннолучевой трубки.

### Ход работы

1. Собирают установку по рисунку 107. Плексигласовую шкалу с миллиметровыми делениями располагают между экраном и передними бортиками прямоугольных катушек. Включают питание трубки. На экране трубки появляется светящееся пятно, для которого нужно подобрать наибольшую яркость. При этом пятно фокусируется так, чтобы его диаметр был менее 1 мм.

2. Замечают деление шкалы, против которого находится середина светящегося пятна. Замыкают ключ и перемещением ползунка реостата (изменением тока в катушке и соответственно напряженности магнитного поля) добиваются смещения светящегося пятна на 10—12 мм. Записывают силу тока. Еще 2—3 раза проделывают опыт по пункту 2 и находят среднее значение силы тока.

Измеряют и записывают анодное напряжение  $U$ . Определяют длину сечения прямоугольных катушек  $L$ .

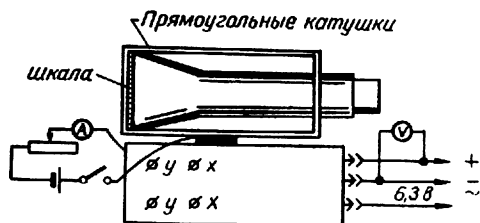


РИС. 107

3. Отключают питание трубки и размыкают ключ. Не разбирая схемы, снимают прямоугольные катушки и располагают их друг от друга на расстоянии, равном расстоянию диаметра шейки трубки. Для этой цели можно применить алюминиевую крестовину, которая могла бы входить во втулки прямоугольных катушек.

Поместив лабораторную магнитную стрелку (или компас) приблизительно на оси между катушками, определяют время 10—20 колебаний при среднем значении силы тока.

Заменяют прямоугольные катушки цилиндрической катушкой, оставив схему соединений прежней. Помещают магнитную стрелку внутрь цилиндрической катушки. Изменением тока добиваются такой напряженности поля, при которой время 10 (или 20) колебаний будет тем же, что и в первом случае. Очевидно, напряженности полей будут одинаковыми. Но для цилиндрической катушки

$$H = \frac{In}{\sqrt{4r^2 + l^2}}.$$

Значит, измерив ток в цилиндрической катушке  $I$ , число ее витков  $n$ , радиус  $r$  и длину  $l$ , можно найти напряженность поля, создаваемого прямоугольными катушками при отклонении электронного пучка.

В одном из опытов определения удельного заряда электрона с помощью прямоугольных катушек был получен следующий результат:

$$\frac{e}{m} = 1,5 \cdot 10^{11} \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{кг}} \pm 0,4 \cdot 10^{11} \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{кг}}.$$

■



## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

#### Методика проведения физического практикума

1. ОТБОР ТЕМАТИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПРАКТИКУМА И ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ —3
  2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ —5
- Описание лабораторных работ —13

### МЕХАНИКА

#### Работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ —15

#### Работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СНАРЯДА БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ПИСТОЛЕТА —20

#### Работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ —21

#### Работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ШАРА —23

#### Работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА —25

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОТА

#### Работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ —27

#### Работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛА —31

#### Работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА И ПЛОТНОСТИ ГАЗА —33

#### Работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА АВОГАДРО —38

#### Работа № 10. ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ХАОТИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ШАРИКОВ —42

### ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

#### Работа № 11. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ —47

#### Работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ, ИНДУКТИВНОСТИ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МОСТОВЫМ МЕТОДОМ —50

#### Работа № 13. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА —55

#### Работа № 14. СБОРКА РЕЛАКСАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА И РАБОТА С НИМ —59

#### Работа № 15. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА —62

#### Работа № 16. СБОРКА РЕЛЕ ВРЕМЕНИ НА ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЕ —67

#### Работа № 17. ИЗУЧЕНИЕ ТИРАТРОНА МТХ-90 —69

#### Работа № 18. ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА (ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТРИОДА) —72



Цена 16 коп.

