

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ

**Цель работы:** изучение методов измерения сопротивлений, изучение законов электрического тока в цепях с последовательным и параллельным соединением сопротивлений.

**Приборы и принадлежности:** источник постоянного тока, переключатели, амперметры, вольтметры, омметр, исследуемые резисторы, гальванометр, магазин сопротивлений, реохорд, соединительные провода.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Ток в металлических проводниках представляет собой упорядоченное движение свободных электронов (электронная проводимость). Однако это движение затруднено их столкновениями с ионами кристаллической решетки металла, поскольку при таких столкновениях электроны теряют свою скорость (упорядоченного движения). Таким образом, металлический проводник оказывает току определенное сопротивление. Для того чтобы преодолеть это сопротивление и получить постоянный электрический ток, необходимо поддерживать внутри проводника постоянное электрическое поле, т.е. необходимо поддерживать постоянную разность потенциалов (напряжение) на концах проводника. Очевидно, что сила тока должна зависеть по крайней мере от двух факторов: от напряжения, приложенного к проводнику, и сопротивления проводника.

Еще в 1826 г. немецкий физик *Г.С.Ом* экспериментально установил, что сила тока  $I$  в проводнике пропорциональна напряжению  $U$  между концами этого проводника:

$$I = kU, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, называемый *электропроводностью* или *проводимостью* проводника. Величина

$$R = 1 / k,$$

Обратная проводимости, называется *электрическим сопротивлением* проводника. Вводя в формулу (1) сопротивление  $R$ , получим

$$I = U / R. \quad (2)$$

Соотношение (2) выражает *закон Ома* для участка цепи (не содержащего источника тока): ***сила тока в проводнике пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.***

Согласно формуле (2), за единицу сопротивления принят *ом* (Ом) – *сопротивление проводника, между концами которого при силе постоянного тока 1А поддерживается напряжение 1В:*

$$\text{Ом} = \text{В} / \text{А}.$$

Размерность сопротивления  $[R] = [U] / [I] = \text{В} / \text{А} = \text{Ом}.$

Поскольку сопротивление, оказываемое току металлическим проводником, обусловлено столкновением свободных электронов с ионами металла, можно предполагать, что это сопротивление должно зависеть от формы, размеров и вещества проводника. Согласно экспериментальным исследованиям Ома, сопротивление прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho l / S, \quad (3)$$

Где коэффициент пропорциональности  $\rho$ , характеризующий материал, из которого изготовлен проводник, называется *удельным сопротивлением* вещества проводника. Из формулы (3) следует соотношение

$$\rho = RS / l ; \quad (4)$$

полагая в нем  $S = 1$  и  $l = 1$ , получим  $\rho = R$ . Следовательно, *удельное сопротивление вещества равно выраженному в омах сопротивлению куба с ребром 1м из данного вещества при токе, параллельном одному из ребёр куба.*

Размерность удельного сопротивления:

$$[\rho] = [R] \cdot [S] / [l] = \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Согласно формуле (4), единицей удельного сопротивления является *ом – метр* (Ом · м): удельное сопротивление такого вещества, куб из которого с ребром 1м имеет сопротивление 1 Ом.

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Измерение сопротивлений часто используется в физической лаборатории. Для измерения сопротивлений используются следующие методы: амперметра и вольтметра, замещения, омметра и мостовой метод.

### МЕТОД АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА.

Первый метод основан на непосредственном применении закона Ома для участка цепи (рис. 1а). Измеряемое сопротивление  $R$  включают в цепь, состоящую из источника тока  $I$  с ЭДС  $E$ , амперметра  $A$ , соединенного последовательно с  $R$ , и вольтметра  $V$ , подключенного параллельно  $R$ . Сила тока в цепи регулируется с помощью реостата (или магазина сопротивлений). Измеряя силу тока  $I$  в цепи и падение напряжения  $U$  на сопротивлении, в соответствии с законом Ома получают:

$$R = U/I. \quad (5)$$

### МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ.

Метод замещения заключается в следующем. В цепь источника тока  $E$  (рис 1б) включают последовательно измеряемое сопротивление  $R$  и амперметр (миллиамперметр, микроамперметр), показание которого отсчитывается. Затем вместо измеряемого сопротивления  $R$  в цепь включается магазин сопротивлений,

на котором подбирается такое сопротивление, чтобы в цепи восстановилась прежняя сила тока. Тогда сопротивление магазина равно измеряемому сопротивлению  $R$ .

### МЕТОД ОММЕТРА.

Метод омметра основан на непосредственном определении неизвестного сопротивления  $R$  с помощью электроизмерительного устройства, носящего название омметра. Омметр состоит из измерительного прибора (миллиамперметра, микроамперметра) магнитоэлектрического типа

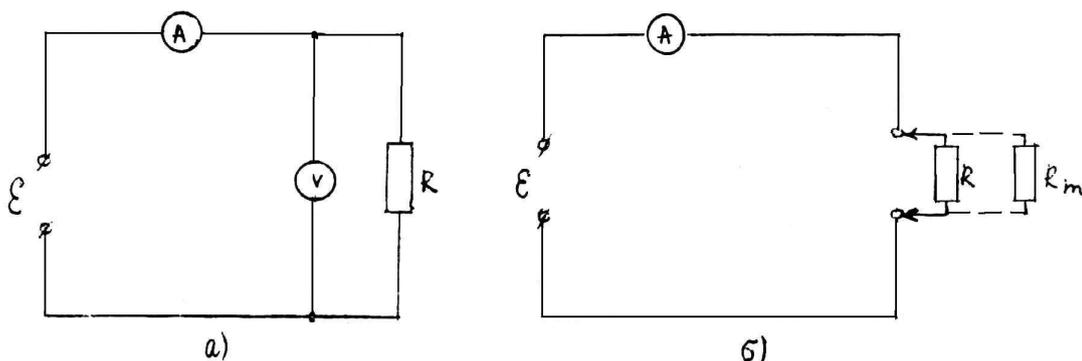


Рис 1. Схемы измерения сопротивлений по методу амперметра и вольтметра (а) и по методу замещений (б).

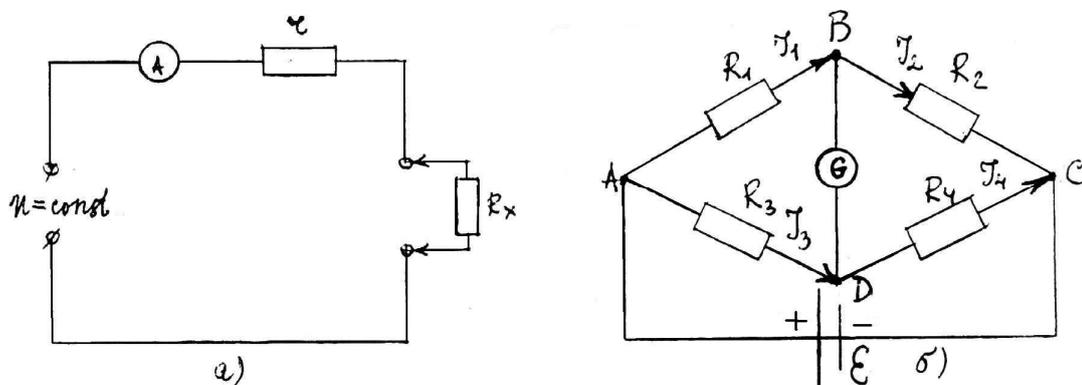


Рис. 2. Схемы измерения сопротивлений по методу омметра (а) и мостовым методом (б).

снабженного достаточно большим дополнительным сопротивлением  $r$  (рис.2а) и источника тока (обычно "сухой" элемент на 1,5 вольта). Измеряемое сопротивление  $R$  включается последовательно с измерительным прибором и источником тока. Ток через измеритель будет зависеть от величины измеряемого сопротивления и шкалу прибора можно проградуировать непосредственно в омах. Шкала омметра неравномерная. Крайне правому делению "0" соответствует случай  $R = 0$ , когда сила тока достигает максимального значения.

Крайне левому делению " $\infty$ " шкалы омметра соответствует бесконечно большое  $R$ , когда сила тока в цепи равна нулю.

### МЕТОД МОСТА.

Классическим методом измерения сопротивлений является метод моста постоянного тока (мост Уитстона) рис. 2б. Мост представляет собой замкнутый контур ABCD, состоящий из четырех последовательно соединенных сопротивлений. В одну из диагональных ветвей – DB – включается чувствительный гальванометр G, в другую – источник Э.Д.С.Е. Точки A и C этого контура соединены с полюсами источника Э.Д.С.Е, и поэтому обладают потенциалами  $\varphi_A$  и  $\varphi_C$ . Как на участке ABC, так и на участке ADC происходит падение потенциала  $\varphi_A$  от  $\varphi_A$  до  $\varphi_C$ . Можно найти две такие точки B и D, потенциалы которых будут равны, т.е.  $\varphi_B = \varphi_D$ . Тогда справедливо следующее:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_A - \varphi_B &= \varphi_A - \varphi_D \\ \varphi_B - \varphi_C &= \varphi_D - \varphi_C \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

По закону Ома разность потенциалов на концах проводника равна произведению силы тока на сопротивление этого проводника, т.е.:

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad \text{и} \quad I_2 R_2 = I_4 R_4 \quad (7)$$

т.к. в проводнике BD тока нет (почему?), то

$$I_1 = I_2 \quad \text{и} \quad I_3 = I_4 \quad (8)$$

Разделив почленно выражения (3), с учетом (4), будем иметь

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (9)$$

Выражение (9) называют условием баланса моста. Пользуясь уравнением (9) можно с помощью моста Уитстона определить любое из составляющих его четырех сопротивлений, если известны остальные три.

Для измерения искоемых сопротивлений собирают электрическую цепь по следующей схеме (рис.3).

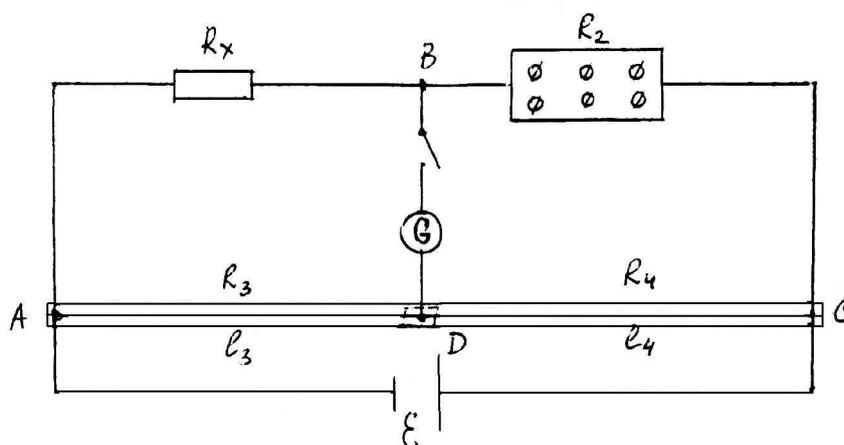


Рис. 3 .Принципиальная схема. Измерение сопротивлений мостовым методом.

Искомое сопротивление  $R_x$  составляет одно плечо моста, второе плечо – магазин сопротивлений  $R_2$ . Эти сопротивление можно менять в широких пределах. Сопротивления  $R_3$  и  $R_4$ , создаются тонкой однородной проволокой реохорда AC. Точка D – скользящий контакт, передвигающийся по струне реохорда. Передвигая контакт D по струне, находим такие точки B и D, потенциалы в которых равны ( $\varphi_B = \varphi_D$ ). Ток не течет через гальвонометр и имеет место равенство:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

учитывая, что

$$R_3 = \rho \frac{l_3}{S} \quad \text{и} \quad R_4 = \rho \frac{l_4}{S}$$

имеем:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{l_3}{l_4} \quad \text{и} \quad \frac{R_x}{R_2} = \frac{l_3}{l_4}$$

следовательно:

$$R_x = R_2 \frac{l_3}{l_4} \tag{10}$$

Из последнего выражения видно, что для определения  $R_x$  достаточно знать величину сопротивления  $R_2$  и соотношение длин  $l_3/l_4$ . Сопротивление подбирается в магазине сопротивлений, затем перемещают ползунок D до тех пор, пока при замыкании ключа стрелка гальвонометра не будет оставаться неподвижной на нуле.

**ВНИМАНИЕ! ЗАМЫКАНИЕ ПРОИЗВОДИТЬ КРАТКОВРЕМЕННО.**

Необходимо иметь в виду, что если  $R_2$  сильно отличается от  $R_x$ , то ползунок придется передвинуть очень близко к концу линейки и измерения становятся недостаточно точными. Максимальная точность получается при  $l_3 \approx l_4$ , т.е., когда ползунок находится на середине реохорда. Для того чтобы добиться этого положения необходимо руководствоваться следующим:

Из формулы  $R_x = R_2 \frac{l_3}{l_4}$  видно, что если  $l_3 > l_4$ , то в магазине следует увеличить сопротивление, если же меньше, то сопротивление магазина следует уменьшить. Таким путем можно добиться равновесие мостика, при положении движка, близкого к середине.

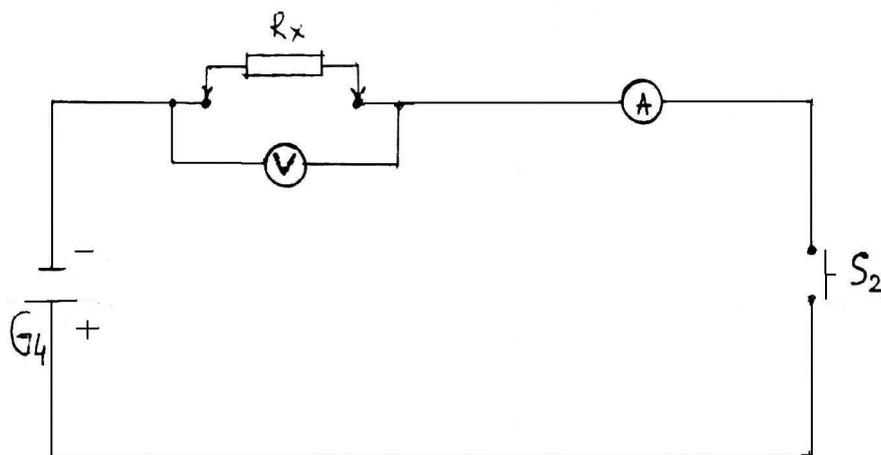


Рис. 4. Принципиальная схема. Измерение сопротивлений по методу амперметра и вольтметра.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА.

- 1.1. Собрать схему согласно рис. 4.
- 1.2. Определить с помощью измерений омметром (или по паспорту) внутреннее сопротивление вольтметра  $R_v$  на том диапазоне, на котором проводятся замеры.
- 1.3. Произвести замеры напряжения  $U$  и тока  $I$ , и определить величину сопротивления по приближенной формуле (5). Затем произвести расчет по уточненной формуле (с учетом внутреннего сопротивления вольтметра):
 
$$R = U / (I - U/R_v) . \quad (11)$$
- 1.4. Определить процентное расхождение полученных результатов.
- 1.5. Аналогично определить сопротивление другого резистора.

### 2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЙ.

- 2.1. Собрать рабочую схему согласно рис.5а.
- 2.2. Подать напряжение источника  $G_4$ .
- 2.3. Установить сопротивление  $R_{20} = 10$  Ом и  $R_{21} = 47$  Ом. Включить переключатель  $S_3$  и снять показания приборов. Занести данные в таблицу.
- 2.4. Разомкнуть переключатель  $S_3$ , отключить вольтметры и омметром измерить сопротивление участка цепи 1-2.
- 2.5. Собрать рабочую схему согласно рис. 5б.
- 2.6. Замкнуть переключатель  $S_3$ , снять показания приборов и занести их в таблицу.
- 2.7. Записать, чему равно напряжение  $U_3$  на зажимах батареи, если напряжение на сопротивлениях  $R_{20}$  и  $R_{21}$  равно соответственно  $U_1$  и  $U_2$ . Проверить

результаты по данным опыта.

- 2.8. Записать, чему равно полное сопротивление внешнего участка цепи  $R$ , если известны  $R_{20}$  и  $R_{21}$ , и проверить результат по данным опыта.

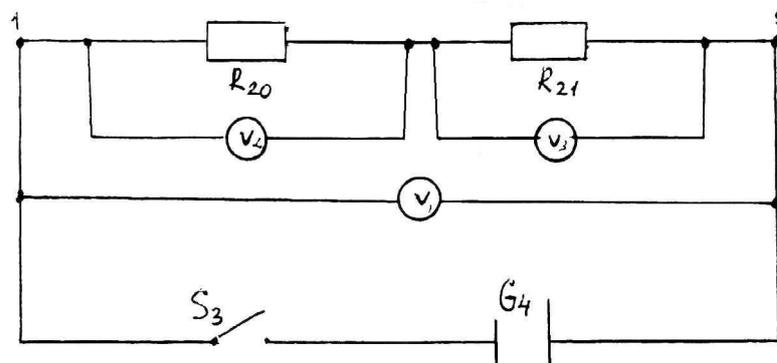


Рис.5а. Принципиальная схема. Последовательное соединение сопротивлений, Измерение напряжений.

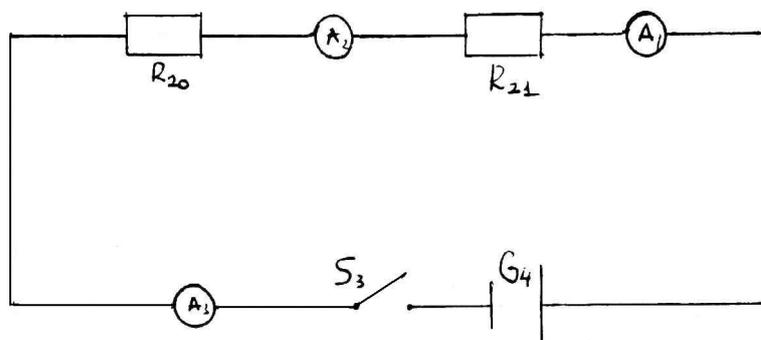


Рис.5б. Принципиальная схема Последовательное соединение сопротивлений. Измерение силы тока.

### 3. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

- 3.1. Собрать рабочую схему согласно рис ба.
- 3.2. Подать напряжение источника  $G_4$ .
- 3.3. Установить сопротивление  $R_{20} = 10$  Ом и  $R_{21} = 47$  Ом. Включить переключатель  $S_3$  и снять показания приборов. Данные занести в таблицу.
- 3.4. Разомкнуть переключатель  $S_3$ , отключить вольтметр и омметром измерить сопротивление участка 1 – 2.
- 3.5. Собрать рабочую схему согласно рис.бб.
- 3.6. Замкнуть переключатель  $S_3$ , снять показания приборов и занести их в таблицу.
- 3.7. Записать, чему равно падение напряжения на зажимах батареи  $U_3$  и проверить результаты по данным опыта.
- 3.8. Записать, чему равно полное сопротивление внешнего участка цепи, если

известны сопротивления отдельных ветвей, и проверить результат по данным опыта.

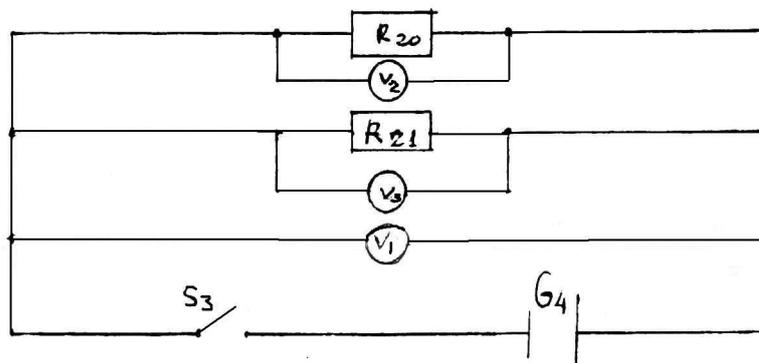


Рис.6а. Принципиальная схема. Параллельное соединение сопротивлений. Измерение напряжений.

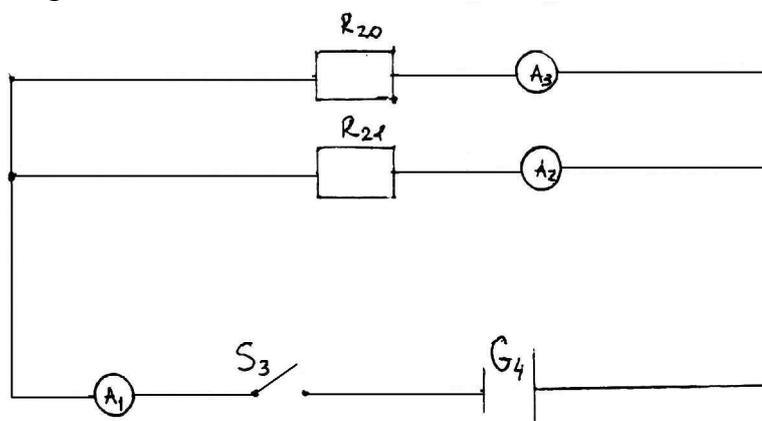


Рис.6б. Принципиальная схема. Параллельное соединение сопротивлений. Измерение силы тока.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ (МЕТОДОМ МОСТА) .

- 4.1. Собрать схему согласно рис.3.
- 4.2. Определить сопротивление 3-х проводников вышеописанным методом. ( $R_{X1}$ ,  $R_{X2}$ ,  $R_{X3}$ )
- 4.3. Соединить три искомых сопротивления последовательно и определить общее сопротивление. Сравнить с теоретическим значением, найденным по формуле:

$$R_{общ} = R_{X1} + R_{X2} + R_{X3}$$

- 4.4. Соединить  $R_{X1}$ ,  $R_{X2}$ ,  $R_{X3}$  параллельно и определить общее сопротивление. Сравнить с теоретическим значением:

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_{X1}} + \frac{1}{R_{X2}} + \frac{1}{R_{X3}}$$

- 4.5. Рассчитать и оценить погрешности измерений.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Чем обусловлено наличие сопротивления в проводниках? Единица измерения сопротивления?
2. Какие методы измерений сопротивлений вы знаете?
3. Изложите существо метода амперметра и вольтметра.
4. Опишите устройство простейшего омметра.
5. Расскажите принцип измерения сопротивлений мостовым методом.
6. Как рассчитывается полное сопротивление участка цепи с параллельно и последовательно включенными резисторами?
7. Запишите выражения для токов и напряжений на участках цепи с последовательным и параллельным включением сопротивлений.
8. Изложите порядок работы и методику подсчета ошибок измерений.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев И.В. "Курс общей физики". Т2. Наука, 1985г.
2. "Физический практикум". Часть 2. Электричество. Ленингр. сан.-гигиенич. ин-т, Ленинград, 1965.
3. "Физический практикум", под редакцией Ивероковой В.И., М., Наука, 1968г.
4. "Руководство к лабораторным занятиям", под редакцией Гольдина Л.Л. М., Наука, 1973г.