

# «Система лабораторных работ по электродинамике»



# Физика. 11 класс. Лабораторные работы

Рабочая тетрадь для учащихся  
общеобразовательных организаций.

Авторский коллектив:

А. В. Грачёв, В. А. Погожев,  
П. Ю. Боков, П. С. Тихонов,  
М. А. Грачёва, А. В. Селиверстов.

Издательский центр «Вентана-Граф».

126 страниц.



# Содержание рабочей тетради

---

## 1. Погрешности измерений и способы их оценки

Обсуждаются различные виды погрешностей прямых и косвенных измерений. Приведены правила их расчёта и тренировочные задания. Описывается графический способ представления результатов измерений.

## 2. Фронтальные лабораторные работы

6 работ по электричеству, магнетизму и оптике.

## 3. Домашние лабораторные работы

17 работ по электричеству, магнетизму, колебаниям и оптике.



# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

Великий русский учёный Д. И. Менделеев утверждал: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры». К сожалению, *практически любое измерение не может быть выполнено абсолютно точно*. Это обусловлено несовершенством измерительных приборов, несовершенством наших органов чувств, влиянием изменяющихся условий эксперимента, которые не контролируются в процессе измерений, и другими причинами.

**Отличие полученного при измерении значения величины от её истинного значения называют погрешностью (ошибкой) измерения.**

Указанное отличие характеризуют либо *абсолютной*, либо *относительной погрешностью* измеряемой физической величины.

**Абсолютной погрешностью называют модуль разности измеренного  $A_{\text{изм}}$  и истинного  $A$  значений величины:**

$$\Delta A = |A_{\text{изм}} - A|. \quad (1)$$

Максимальное значение указанной величины, которое может быть получено при измерении, называют *максимальной абсолютной погрешностью*  $\Delta A$ .

**Максимальной относительной погрешностью называют отношение максимальной абсолютной погрешности к модулю измеренного значения величины:**

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{|A_{\text{изм}}|}. \quad (2)$$

# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

Измерение называют *косвенным*, если значение определяемой физической величины получают путём расчёта по известной зависимости от прямо измеряемых величин. Такую физическую величину называют *косвенно измеренной*. Например, средняя плотность  $\rho$  тела будет косвенно измеряемой величиной, если её определяют, прямо измерив массу  $m$  тела и его объём  $V$ :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (4)$$

В этом примере расчётная формула (4) следует непосредственно из определения искомой величины. Однако чаще встречаются случаи, когда для получения расчётной формулы приходится прибегать к тем или иным упрощающим предположениям. Например, при измерении силы тока в цепи амперметром часто его внутреннее сопротивление считают равным нулю. Возникающую в подобных случаях погрешность называют *систематической*. Сразу же отметим, что систематическую погрешность, как правило, удаётся обнаружить (а затем и устранить), только если удаётся выбрать другой способ измерения.

Наконец, *совместными* называют измерения, при которых интересующие величины (например,  $U$ ,  $V$ ,  $W$ ) связаны определённым соотношением с несколькими прямо измеряемыми величинами (например,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$ ). В этом случае проводят многократные измерения прямо измеряемых величин при изменяемых определённым образом условиях. Другими словами, значения одной или нескольких прямо измеряемых величин изменяют от опыта к опыту, получая серию из многих измерений. Понятно, что и в этом случае получаемый результат может быть искажён систематической погрешностью.

Наряду с систематическими различают *погрешность отсчёта*, *приборную* и *случайную погрешности*.

# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

Увеличивать число повторных измерений для получения всё меньшей и меньшей случайной погрешности  $\Delta A_{\text{ср}}$  целесообразно до тех пор, пока она не окажется близкой к приборной погрешности  $\Delta A_{\text{пр}}$ , поскольку *максимальную абсолютную погрешность  $\Delta A$  прямо измеренной величины считают равной:*

$$\Delta A = \Delta A_{\text{пр}} + \Delta A_{\text{ср}}. \quad (9)$$

Подчеркнём, что точность вычисляемой указанным способом погрешности обычно составляет не более 30–50%. Поэтому *максимальную абсолютную погрешность при записи конечного результата обычно округляют до одной значащей цифры.*

Пусть, например, в результате измерений и расчёта было получено  $A_{\text{ср}} = 10\,789$ ,  $\Delta A = 325$ . Тогда, согласно сказанному, значение максимальной абсолютной погрешности следует округлить до одной значащей цифры:  $\Delta A = 0,3 \cdot 10^3$ . При этом числовое значение измеряемой величины округляют так, чтобы его последняя цифра была в том же разряде, что и цифра в значении погрешности. Таким образом, в рассмотренном примере результат должен иметь вид:  $A_{\text{ср}} = 10,8 \cdot 10^3$ ,  $\Delta A = 0,3 \cdot 10^3$  либо  $A = (10,8 \pm 0,3) \cdot 10^3$ .

Другими словами, значение измеряемой величины удовлетворяет двойному равенству:

$$(10,8 - 0,3) \cdot 10^3 \leq A \leq (10,8 + 0,3) \cdot 10^3.$$

Исключениями из рассмотренного правила являются два случая.

1) Значение погрешности округляют, оставляя две значащие цифры, если первая значащая (отличная от нуля) цифра значения погрешности равна 1. При этом соответствующим образом округляют и значение измеряемой величины. Например, если  $A_{\text{ср}} = 10\,789$ ,  $\Delta A = 172$ , то окончательный результат может быть записан в виде:  $A_{\text{ср}} = 10,79 \cdot 10^3$ ,  $\Delta A = 0,17 \cdot 10^3$ .

2) В значении погрешности при округлении оставляют две значащие цифры и в случае, если измеренную величину используют в дальнейших расчётах.

# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

При **косвенных измерениях** вычисление погрешности зависит от вида функции  $f$  – зависимости искомой величины от прямо измеряемых величин  $x$  и  $y$ . В таблице 1 приведены формулы, по которым производят вычисление модулей максимальных погрешностей для некоторых функций на основании модулей  $\Delta x$  и  $\Delta y$  максимальных абсолютных погрешностей величин  $x$  и  $y$ .

*При проведении косвенных измерений следует придерживаться следующей схемы.*

**Шаг 1.** Выполнить все необходимые прямые измерения, записывая их результаты в таблицу. Записать приборные погрешности для каждой из прямо измеренных величин.

**Шаг 2.** Используя формулы (6) и (7), вычислить средние значения и модули абсолютных погрешностей прямо измеренных величин. Используя неравенство (8), проверить, нет ли среди результатов прямо измеренных величин промахов. Если они обнаружатся, то после их исключения следует вновь воспользоваться формулами (6) и (7).

Если средняя абсолютная погрешность прямо измеренной величины существенно превышает приборную ошибку, то следует увеличить число измерений этой величины. В противном случае можно определить максимальные абсолютные погрешности, используя формулу (9). После этого необходимо записать результаты прямых измерений, придерживаясь указанных выше правил.

# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

Таблица 1

Вид функции $f$	Модуль максимальной абсолютной погрешности $\Delta f$	Модуль максимальной относительной погрешности $\varepsilon_f$
$f = x + y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$f = x - y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
$f = x \cdot y$	$\Delta f = y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	$\Delta f = \frac{y \cdot \Delta x + x \cdot \Delta y}{y^2}$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = x^n$	$\Delta f = n \cdot x^{n-1} \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = n \cdot \frac{\Delta x}{x} = n \cdot \varepsilon_x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{n \cdot \sqrt[n]{x^{n-1}}}$	$\varepsilon_f = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta x}{x} = \frac{1}{n} \cdot \varepsilon_x$



# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

---

## Упражнения

**Задание 1.** Два проводника с сопротивлениями  $0,5 \pm 0,1$  Ом и  $1,1 \pm 0,1$  Ом соединили последовательно. Определите общее сопротивление получившегося участка цепи. Запишите полученный результат с учётом максимальной абсолютной погрешности. Оцените максимальные относительные погрешности измерения обоих сопротивлений и сопротивления всей цепи. Сравните полученные результаты и сделайте вывод.

---

---

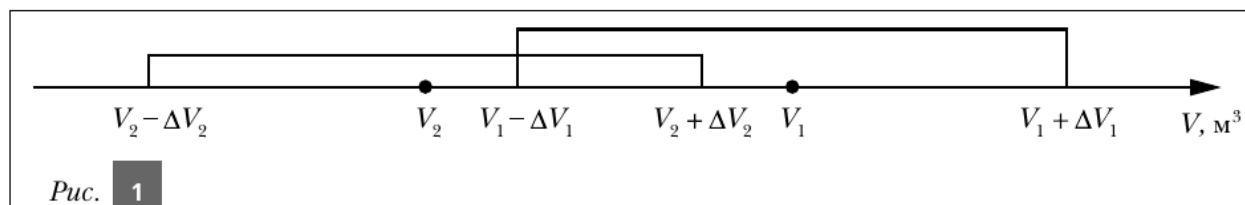
---

# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

## О графическом сравнении результатов различных экспериментов

Очень часто приходится сравнивать результаты измерения одной и той же физической величины (см. шаг 3, с. 7), полученные двумя разными способами (или в двух разных экспериментах). Понятно, что эти значения не обязаны совпадать. Обычно различаются и значения погрешностей измерений. Для сравнения результатов, полученных разными способами (или в разных экспериментах), удобно изображать их на общей координатной оси (с единицами измерения, соответствующими данной физической величине) с указанием *доверительных интервалов*.

Центр каждого из интервалов совпадает со значением (например, средним арифметическим) физической величины, полученным в данном эксперименте. От этого центра в обоих направлениях вдоль оси откладывают отрезки, длина каждого из которых равна максимальной абсолютной погрешности измеренной величины в этом же эксперименте. После изображения обоих доверительных интервалов (рис. 1) следует определить, имеется ли область пересечения интервалов, полученных в разных экспериментах. Чем больше эта область, тем более удачными являются выбранные модели описания реальной ситуации и методики экспериментов. Если же область пересечения интервалов отсутствует, то проводят анализ вызвавших это причин. Чтобы лучше понять сказанное, выполните следующие задания.



# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

## Графическое представление результатов измерений зависимости одной физической величины от другой

При представлении информации в виде графика важно соблюдать следующие рекомендации.

1) График (линия или точки) является основной частью рисунка. График должен занимать подавляющую часть площади используемого листа координатной сетки.

2) При использовании декартовой системы координат ( $X$ ,  $Y$ ) независимая переменная  $x$  (аргумент функции) откладывается по оси абсцисс, а переменная  $y$  (значение функции) – по оси ординат.

3) На координатные оси наносят обозначения откладываемых физических величин и единиц их измерения общепринятыми символами ( $R$ , Ом) (рис. 2 и 3). На рисунке 3 приведена зависимость силы тока от напряжения:  $I = 0,46U$ .

4) При равномерном масштабе координатные штрихи и масштабные числа располагаются равномерно. Вдоль осей наносят обычно не более 5–10 рисок, рядом с которыми подписывают их числовые значения. Оси могут начинаться не с 0. Если обе оси начинаются с нуля, 0 ставится только один раз.

5) Если на графике есть положительные и отрицательные значения, ось обязательно проводят через 0. При переходе через 0 можно изменять масштаб. Подписывать числовые значения шкалы можно либо рядом с осью, либо, чтобы не загромождать чертёж, по левой (или нижней) границе сетки. *Измеренные значения на шкалы не наносят.*

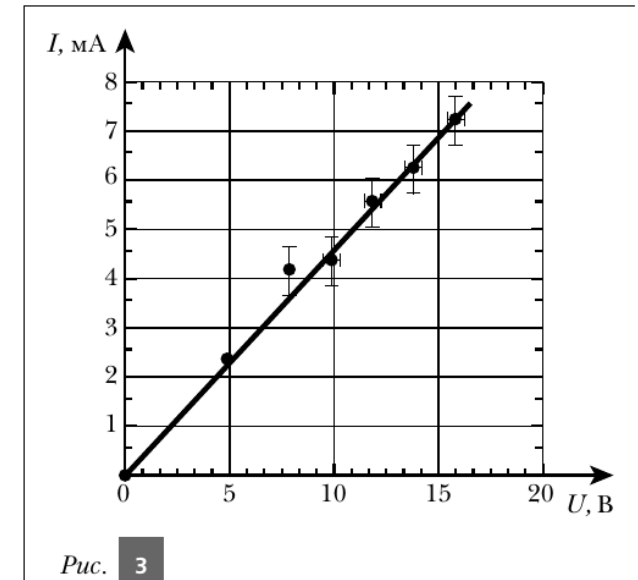


Рис. 3

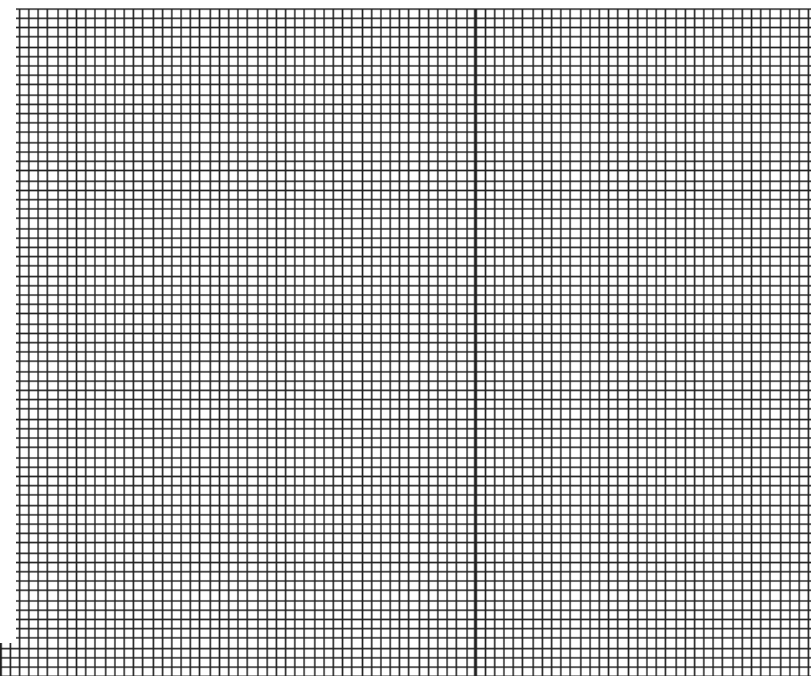
# Часть 1. Погрешности измерений и способы их оценки

**Задание 1.** В результате измерения вольт-амперной характеристики проволоки были получены следующие данные (табл. 2).

Таблица 2

$I, \text{мА}$	0	6	12	18	24	30	36
$U, \text{В}$	0	1,0	1,8	3,1	4,0	5,1	5,9

Максимальная абсолютная погрешность измерения силы тока составляет  $\pm 1$  мА, максимальная абсолютная погрешность измерения напряжения —  $\pm 0,1$  В. Постройте по этим данным график вольт-амперной характеристики проволоки. На основе полученного графика определите сопротивление проволоки. Оцените её максимальную абсолютную погрешность. Запишите полученный результат.



---

---



## Часть 2. Фронтальные лабораторные работы

---

1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока
2. Определение элементарного заряда при электролизе
3. Изучение явления электромагнитной индукции
4. Определение показателя преломления стекла
5. Оценка длины волны света разного цвета
6. Определение удельного заряда частицы по её треку в камере Вильсона

# 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

## Лабораторная работа № 1

### Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

*Цель работы:* научиться вычислять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока на основании экспериментальных данных – измеренных значений силы тока и напряжения в цепи.

*Средства измерения и материалы:* источник тока, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

#### Дополнительные сведения

Повторите материал, изложенный в § 6 учебника.

#### Вопросы по теории

Решите следующую задачу.

Один и тот же источник тока сначала подключают к одному резистору, а затем – к другому. В первом случае напряжение между клеммами источника равно  $U_1$ , а сила тока в цепи равна  $I_1$ , во втором случае – напряжение и сила тока равны  $U_2$  и  $I_2$  соответственно. Определите внутреннее сопротивление  $r$  и ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .

*Решение.*

# 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

## ■ Электродинамика (продолжение)

сил  $\vec{F}_{\text{стор}}$  уравновешено действием электростатических сил  $\vec{F}_{\text{эст}}$ , возникших из-за накопления зарядов на полюсах (клеммах)  $A$  и  $B$ . При этом потенциал клеммы  $A$  больше потенциала клеммы  $B$ . Клемму  $A$  называют положительным полюсом источника и обозначают знаком «+», а клемму  $B$  — отрицательным полюсом и обозначают знаком «-».

Возникновение сторонних сил может быть обусловлено разными причинами. Например, в генераторе Ван де Граафа носители заряда упорядоченно перемещаются из электризованной движущейся диэлектрической ленты; в химических источниках тока — батарейках, аккумуляторах — сторонние силы возникают из-за протекающих в них химических реакций; в индукционных генераторах возникновение сторонних сил обусловлено действием магнитного поля на свободные носители заряда в движущихся проводниках. Сторонние силы могут возникать также под действием света, неравномерного нагрева проводников и по другим причинам.

Источник тока и подключённый к его полюсам проводник  $AB$  образуют замкнутую цепь. В этой цепи электрический ток совершает работу за счёт работы сторонних сил в источнике тока. Для характеристики работы сторонних сил используют специальную физическую величину — **электродвижущую силу** (ЭДС).

Электродвижущей силой (ЭДС) называют физическую величину, равную работе сторонних сил на перемещение пробного заряда внутри источника от его отрицательного полюса к положительному, делённой на этот заряд:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q} \quad (1)$$

Единица электродвижущей силы (ЭДС) в СИ такая же, как и единица разности потенциалов и единица напряжения, — **вольт** (В).

Обратим внимание на то, что **сторонние силы не потенциальны**: их работа над пробным зарядом при его перемещении из одной точки в другую зависит от вида траектории. Например, при перемещении пробного заряда от полюса  $B$  источника к его полюсу  $A$  (см. рис. 22) по траектории, лежащей целиком вне источника, работа сторонних сил равна нулю, так как вне источника сторонних сил нет.

Рассмотрим простейшую замкнутую цепь, состоящую из источника тока и резистора  $R$  (рис. 23).

Рис. 23

## ■ Электродинамика (продолжение)

5. Имеется электрическая лампа мощностью  $P = 50$  Вт, рассчитанная на рабочее напряжение  $U_{\text{р}} = 120$  В. Определите сопротивление резистора, который нужно последовательно с этой лампой подключить к источнику с напряжением  $U_{\text{и}} = 220$  В, чтобы на лампе соответствовало рабочее.

Для углублённого уровня

6. Электрический чайник имеет две спирали. С помощью переключателя к клеммам чайника можно подключать эти спирали либо по одной, либо соединив их последовательно, либо соединив их параллельно. При этом напряжение между клеммами чайника остаётся неизменным. Если к клеммам подключить только первую спираль, то налитая в чайник вода закипит через время  $t_1$ , а если только вторую — через время  $t_2$ . Через какое время закипит вода, если спирали подключить: а) параллельно; б) последовательно, а теплообменом с окружающей средой пренебречь?
7. Во сколько раз пришлось бы увеличить массу проводов ЛЭП, е-

ско-

## Глава 1. Постоянный электрический ток

1. Сопротивление резистора  $R$ , подключённого к источнику тока, принято называть **внешним сопротивлением** (или **нагрузкой**) **замкнутой цепи**.

Напротив, сопротивление участка цепи, находящегося внутри источника, называют **внутренним сопротивлением источника**.

Пусть внутреннее сопротивление показанного на рис. 23 источника равно  $r$ , его ЭДС равна  $\mathcal{E}$ , а сила тока в цепи равна  $I$ . Рассмотрим промежуток времени  $\Delta t$ . За этот промежуток времени через поперечное сечение цепи проходит заряд  $\Delta q = I \cdot \Delta t$ , а работа сторонних сил, согласно (1), равна:

$$A_{\text{стор}} = \mathcal{E} \cdot \Delta q = \mathcal{E} \cdot I \cdot \Delta t \quad (2)$$

За рассматриваемый промежуток времени в цепи на сопротивлениях  $R$  и  $r$ , согласно закону Джоуля — Ленца, выделяется количество теплоты:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t + I^2 \cdot r \cdot \Delta t \quad (3)$$

Согласно закону сохранения энергии,  $A_{\text{стор}} = Q$ . Отсюда с учётом (2) и (3) получаем:

$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r \quad (4)$$

Из соотношения (4) получаем **закон Ома для полной (замкнутой) цепи**.

**Сила тока в замкнутой цепи равна отношению ЭДС источника тока к полному сопротивлению цепи:**

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (5)$$

Если цепь содержит несколько последовательно соединённых источников, то при протекании тока сторонние силы каждого из источников будут совершать работу. В этом случае в числителе правой части формулы (5) будет стоять алгебраическая сумма ЭДС всех источников тока. Для расчёта алгебраической суммы ЭДС применяют **правило знаков**. Для этого вдоль положительное направление обхода цепи по часовой стрелке. Если действие сторонних сил рассматриваемого источника стремится вызвать ток в положительном направлении обхода, то ЭДС этого источника считают положительной. В противном случае — отрицательной.

6. Например, внутреннее сопротивление химических источников тока — это сопротивление его электролита и электродов; внутреннее сопротивление индукционного генератора — это сопротивление его обмоток.

## Глава 1. Постоянный электрический ток

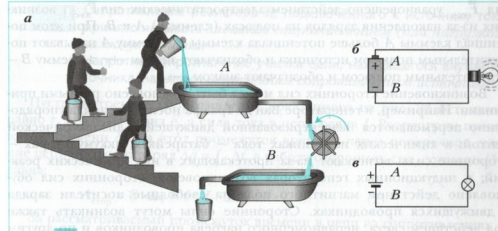


Рис. 21 Электрический ток течёт и совершает работу за счёт работы сторонних сил в источнике тока

## ■ Электродинамика (продолжение)

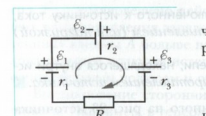


Рис. 24

В соответствии с этим правилом алгебраическая сумма ЭДС для цепи, показанной на рис. 24, равна:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = |\mathcal{E}_1| + |\mathcal{E}_2| - |\mathcal{E}_3| \quad (6)$$

Сила тока в замкнутой цепи равна отношению алгебраической суммы ЭДС источников тока к полному сопротивлению цепи, равному сумме внешнего сопротивления и внутренних сопротивлений всех источников.

Например, для изображённой на рис. 24 цепи формула (5) имеет вид:

$$I = \frac{|\mathcal{E}_1| + |\mathcal{E}_2| - |\mathcal{E}_3|}{R + r_1 + r_2 + r_3} \quad (7)$$

Обратим особое внимание на то, что сила тока  $I$ , рассчитанная для цепи с несколькими источниками тока, может быть как положительной, так и отрицательной. Если алгебраическая сумма ЭДС  $\mathcal{E} > 0$ , то, согласно (5),  $I > 0$ . Это означает, что направление тока в цепи совпадает с положительным направлением её обхода. Напротив, если  $\mathcal{E} < 0$ , то, согласно (5),  $I < 0$ . Это означает, что направление тока в цепи противоположно положительному направлению её обхода.

Графики зависимости силы тока  $I$  в замкнутой цепи (см. рис. 23) и напряжения  $U = I \cdot R$  между выводами резистора от его сопротивления  $R$  при неизменных внутреннем сопротивлении  $r$  и ЭДС  $\mathcal{E}$  источника показаны на рис. 25 и 26. Проанализируем эти графики.

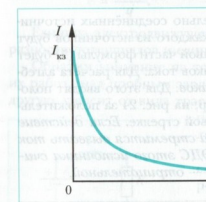


Рис. 25

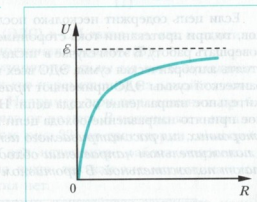


Рис. 26

## Глава 1. Постоянный электрический ток

Из графиков видно, что при увеличении внешнего сопротивления сила тока в цепи уменьшается, а напряжение между полюсами источника **вдоль внешнего участка цепи** увеличивается.

Случай, когда внешнее сопротивление стремится к нулю, называют **коротким замыканием**. При коротком замыкании сила тока в цепи максимальна и, согласно (5), равна  $I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$ . Следовательно, при малом внутреннем сопротивлении источника сила тока в цепи будет очень большой. Поэтому при коротком замыкании соединяющий полюсы источника провод может расплавиться, а сам источник может перегреться и выйти из строя.

Напротив, когда внешнее сопротивление стремится к бесконечно большому значению, сила тока в цепи стремится к нулю, а напряжение между полюсами источника **вдоль внешнего участка цепи** стремится к ЭДС источника.

### Вопросы

1. Что такое источник тока?
2. Какие силы действуют на заряды в источнике тока? На каком участке замкнутой цепи свободные носители заряда упорядоченно движутся против сил электростатического поля?
3. Что происходит в источнике тока под действием сторонних сил?
4. Какие известные вам причины могут вызвать появление сторонних электрических сил в источнике тока?
5. Что такое ЭДС?
6. Что называют внутренним сопротивлением источника?
7. Сформулируйте правило знаков для ЭДС источника тока.
8. Когда ток в замкнутой цепи считается положительным?
9. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
10. Что называют коротким замыканием? Что может произойти при коротком замыкании источника тока?
- \*11. Как связаны между собой разность потенциалов, ЭДС и напряжение между клеммами разомкнутого источника **вдоль** траектории, которая целиком лежит: а) вне источника; б) внутри источника?

### Упражнение

1. Нарисуйте схему простейшей замкнутой (полной) цепи. Определите силу тока в этой цепи, если ЭДС источника  $\mathcal{E} = 10$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 30$  Ом, а сопротивление нагрузки  $R = 70$  Ом.



# 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

## Лабораторная работа № 1

### Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

*Цель работы:* научиться вычислять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока на основании экспериментальных данных – измеренных значений силы тока и напряжения в цепи.

*Средства измерения и материалы:* источник тока, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

#### Дополнительные сведения

Повторите материал, изложенный в § 6 учебника.

#### Вопросы по теории

Решите следующую задачу.

Один и тот же источник тока сначала подключают к одному резистору, а затем – к другому. В первом случае напряжение между клеммами источника равно  $U_1$ , а сила тока в цепи равна  $I_1$ , во втором случае – напряжение и сила тока равны  $U_2$  и  $I_2$  соответственно. Определите внутреннее сопротивление  $r$  и ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .

*Решение.*



# 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

## Порядок выполнения

1. Соберите электрическую цепь согласно схеме, изображённой на рисунке 5.
2. После замыкания ключа при четырёх положениях ползунка реостата измерьте напряжение  $U$  между клеммами источника и силу тока  $I$  в цепи. Результаты измерений занесите в таблицу 7. После этого разомкните ключ.

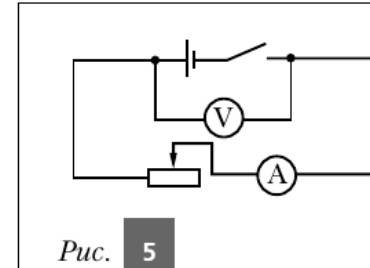


Рис. 5

Таблица 7

Номер эксперимента	$I$ , мА	$U$ , В
1		
2		
3		
4		

3. Оцените максимальные абсолютные погрешности измерения  $I$  и  $U$  с учётом класса точности приборов (амперметра и вольтметра) для каждого из экспериментов.

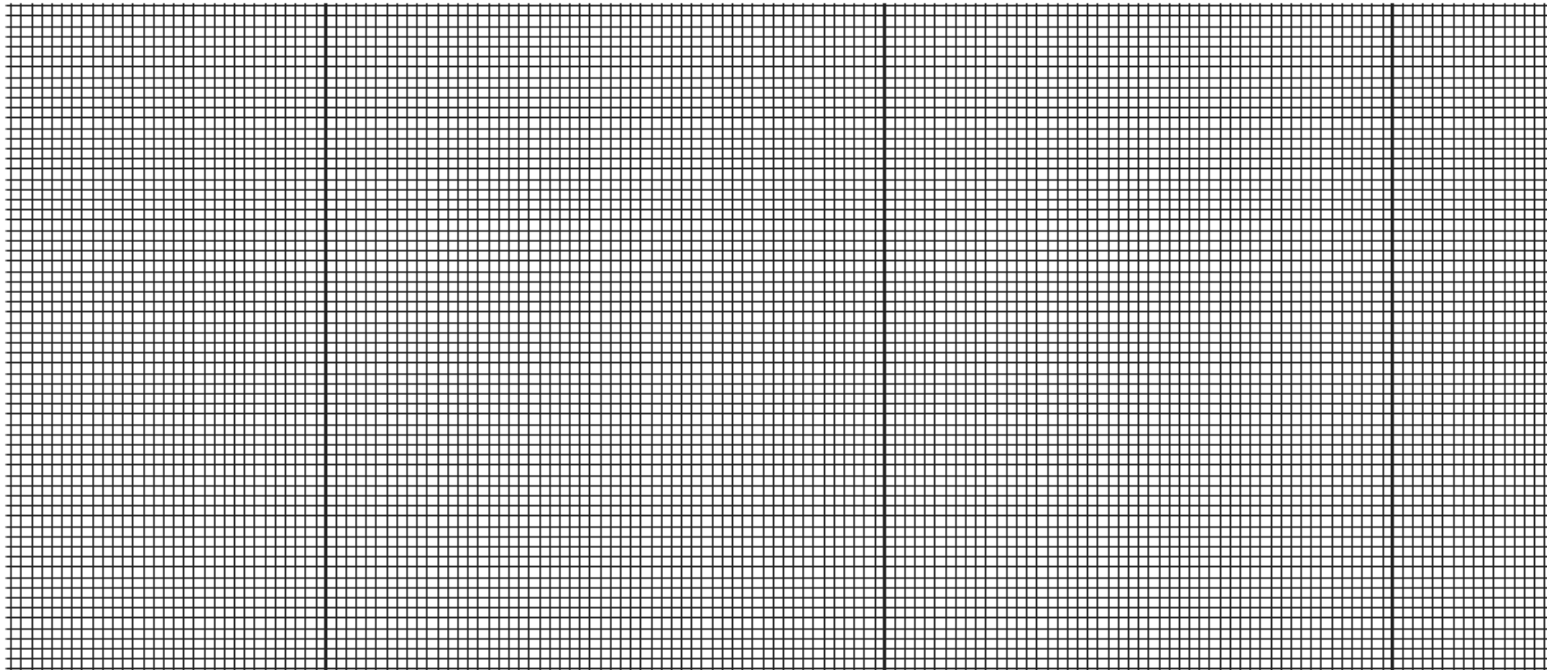
---

---

## 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

---

4. Используя данные таблицы 7, постройте график зависимости  $I(U)$ . На графике укажите погрешности измерения напряжения  $U$  между клеммами источника и силы тока  $I$  в цепи. Масштаб для построения графика выберите самостоятельно.



# 2.1. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

---

5. Вычислите по формулам, полученным при решении задачи (см. рубрику «Вопросы по теории»), ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутреннее сопротивление  $r$  источника тока.

---

---

6\*. Вычислите максимальную относительную и максимальную абсолютную погрешности определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

---

---

7. С помощью вольтметра измерьте ЭДС источника тока. Сравните полученное значение ЭДС с ранее вычисленным по формуле.

---

---

8. По результатам работы сформулируйте вывод и запишите его.

---

---

---

## 2.2. Определение элементарного заряда при электролизе

2. Соберите электрическую цепь, схема которой показана на рисунке 6.
3. Включите источник постоянного напряжения и установите в цепи силу тока, равную 1 А. Одновременно начните отсчёт времени, используя часы. В течение 20 мин поддерживайте неизменной силу тока в цепи, перемещая ползунок реостата. Запишите значения силы тока и промежутка времени в таблице 8.
4. После окончания указанного промежутка времени разомкните ключ. Извлеките из ванны катод и просушите его над электрической плиткой. После этого измерьте массу  $m_2$  катода. Результат измерения запишите в таблицу 8.
5. Найдите массу  $m$  меди, выделившейся на катоде, по формуле  $m = m_2 - m_1$ . Результат вычисления запишите в таблицу 8.

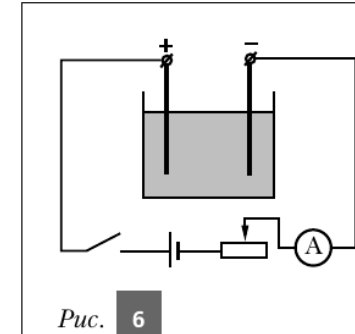


Таблица 8

$m_1$ , г	$m_2$ , г	$m$ , г	$\Delta t$ , с	$I$ , А

6. С помощью формулы, полученной при решении задачи (см. рубрику «Вопросы по теории»), и данных таблицы 8 определите модуль элементарного заряда.



## 2.3. Изучение явления электромагнитной индукции

---

### Лабораторная работа № 3

#### Изучение явления электромагнитной индукции

*Цель работы:* изучить явление электромагнитной индукции.

*Средства измерения и материалы:* миллиамперметр с нулём в середине шкалы, источник постоянного тока, две катушки с сердечниками, подковообразный магнит, ключ (или кнопочный выключатель), магнитная стрелка, реостат, гайка, соединительные провода.

Задание 1. Исследование магнитного поля катушки с током

Задание 2. Исследование явления электромагнитной индукции и правила Ленца

## 2.4. Определение показателя преломления стекла

*Средства измерения и материалы:* стеклянная плоскопараллельная пластинка со скошенными гранями, тетрадный лист, картон, булавки, угольник, транспортир, линейка, карандаш.

### Дополнительные сведения

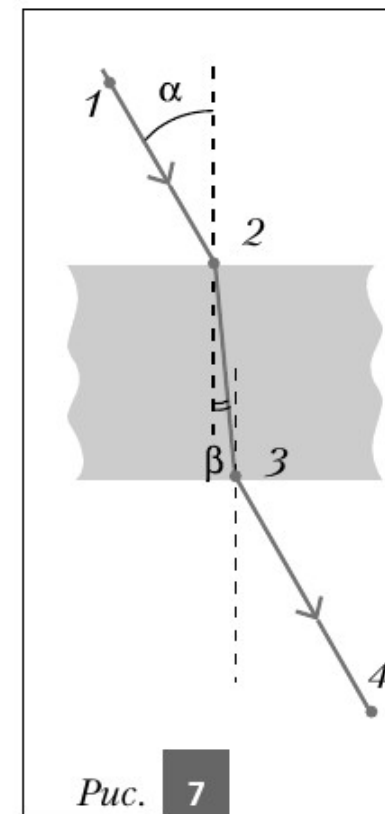
Повторите материал, изложенный в § 52 учебника.

### Вопросы по теории

Решите следующую задачу.

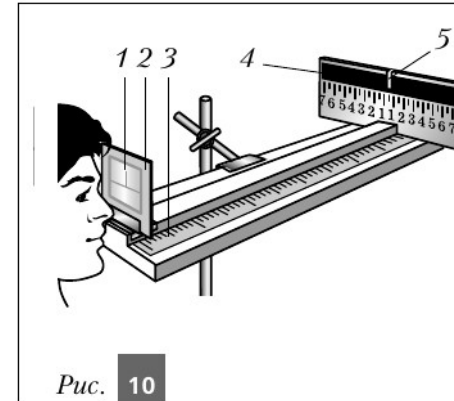
Луч света проходит через расположенную в воздухе плоскопараллельную пластинку так, как показано на рисунке 7. Определите показатель преломления  $n$  стекла, из которого изготовлена эта пластинка. Считайте углы  $\alpha$  и  $\beta$  известными. Докажите, что луч, падающий на пластинку, и луч, выходящий из неё, параллельны друг другу.

*Решение.*



## 2.5. Оценка длины волны света разного цвета

1. Рассмотрите прибор для определения длины волны света (рис. 10). Используя линейку 3, установите экран 4 с щелью 5 на расстоянии  $l = 50$  см от закреплённой в держателе 2 дифракционной решётки 1.
2. Посмотрите сквозь решётку и щель на источник света. Дифракционные спектры каких порядков вам удалось увидеть? Каким будет порядок чередования цветов в спектре в пределах спектра одного порядка? Опишите результаты наблюдения.



3. Измерьте координаты максимумов, соответствующих синей, зелёной и красной частям спектра в  $\pm 1$  и  $\pm 2$  порядках дифракционных спектров. Результаты измерений занесите в таблицу 10.

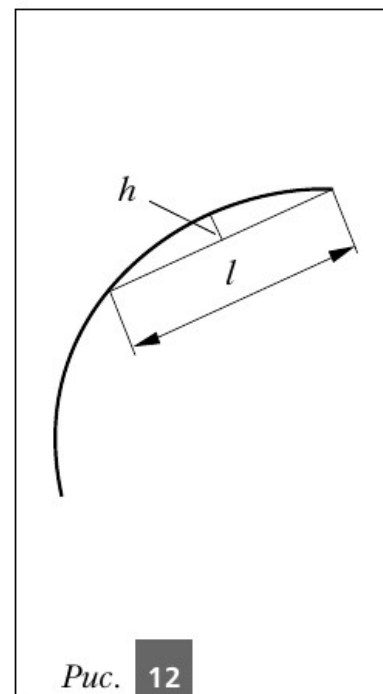
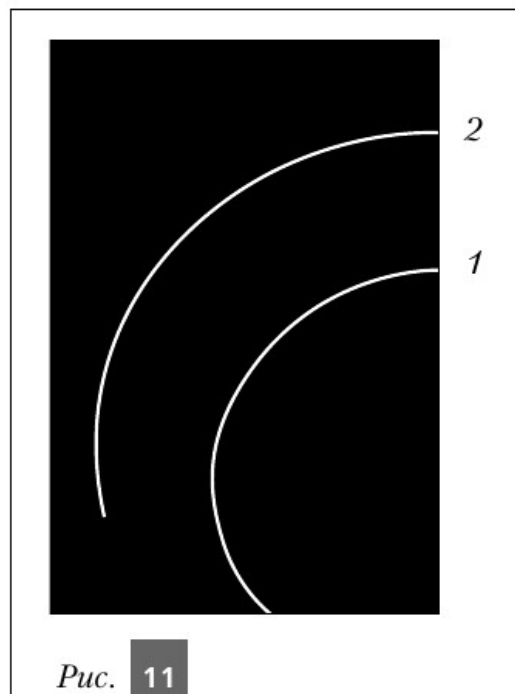
Таблица 10

Цвет максимума	Порядок	Координата максимума, мм	$\lambda$ , нм	$\lambda_{\text{ср}}$ , нм
Синий	-2			
	-1			
	+1			
	+2			

## 2.6. Определение удельного заряда частицы по её треку

### Порядок выполнения

1. Переведите на кальку изображение треков заряженных частиц *1* и *2* (рис. 11).
2. Проведите к начальным участкам треков хорды, как показано на рисунке 12. Измерьте высоту  $h$  и длину  $l$  этих хорд. Результаты измерений запишите в таблицу 11.





# Часть 3. Домашние лабораторные работы

---

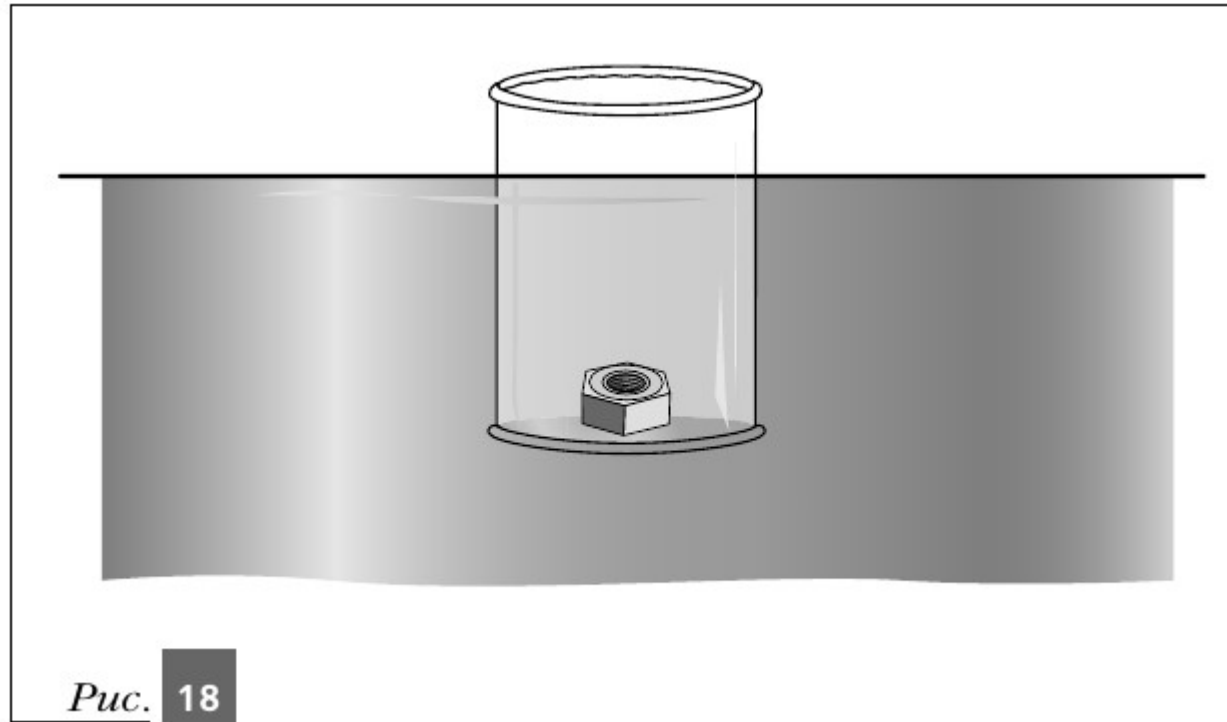
1. Изучение электрической проводимости растворов электролитов
2. Изучение магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом
3. Изучение индукции магнитного поля витка с током
4. Изучение колебаний плавающего тела
5. Изучение колебаний сложных пружинных маятников
6. Изучение затухающих колебаний нитяного маятника
7. Изучение колебаний жидкости в U-образной трубке
8. Определение характеристик домашних электрических приборов
9. Расчёт потребляемой электроэнергии по показаниям электросчётчика
10. Сборка униполярного электродвигателя

# 3.1. Измерение величины магнитной индукции



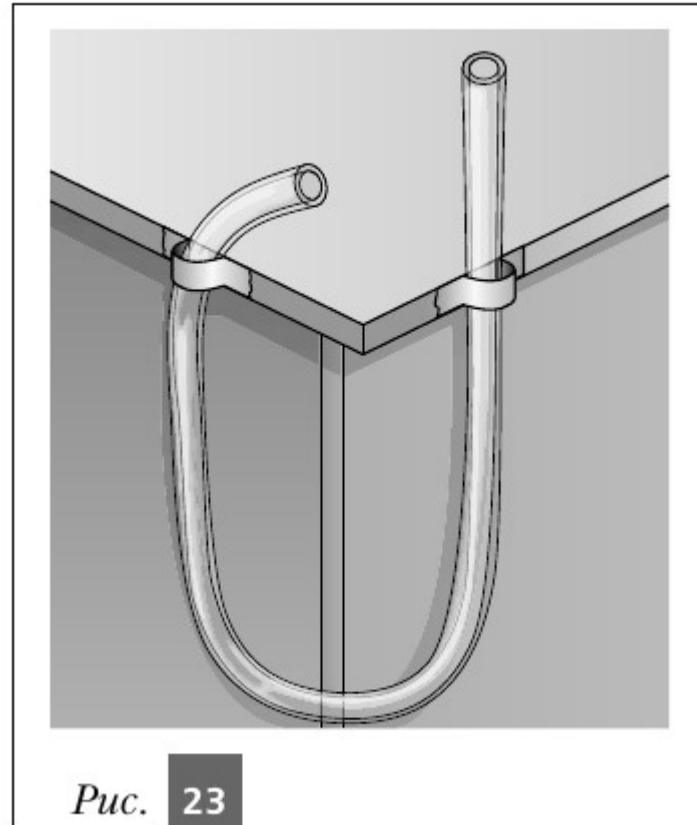
## 3.2. Изучение колебаний плавающего тела

---



### 3.3. Изучение колебаний жидкости в U-образной трубке

---



## 3.4. Сборка униполярного электродвигателя

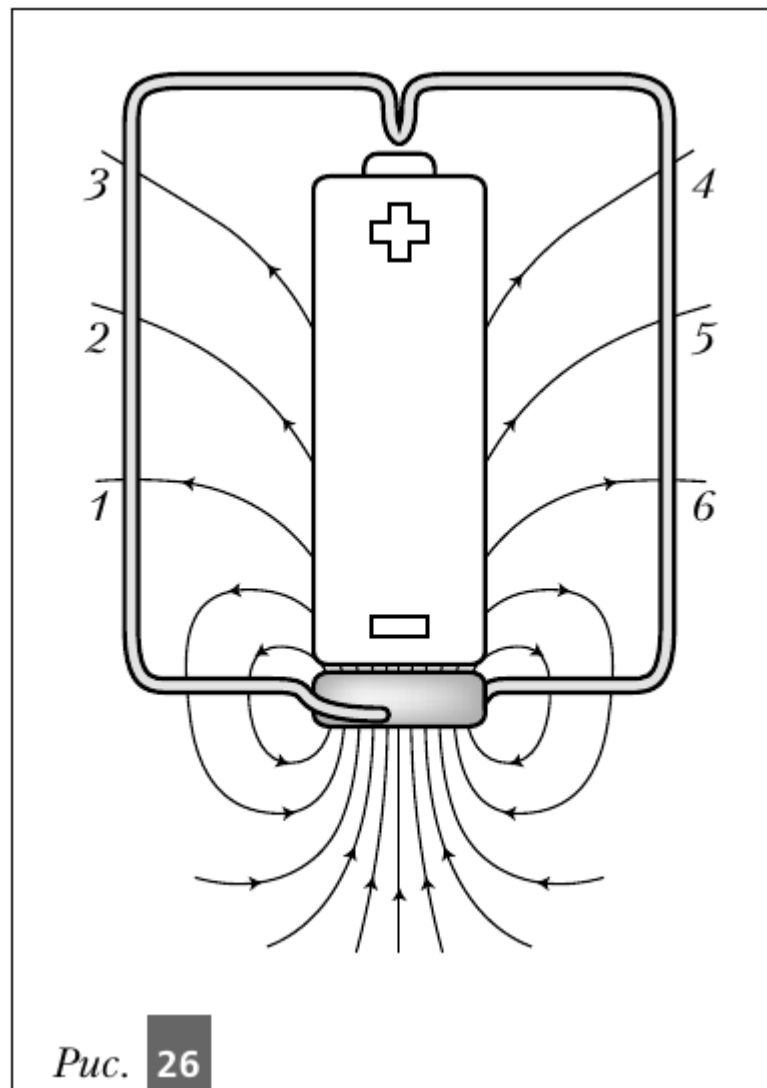


Рис. 26



# 3.5. Наблюдение явления дифракции на CD

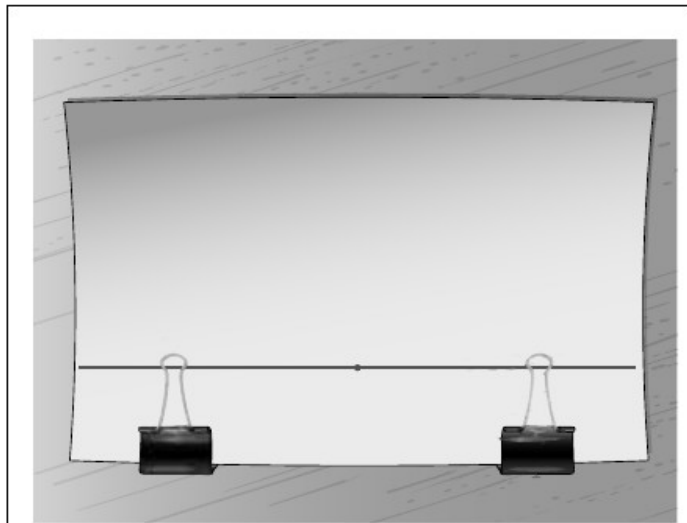


Рис. 37

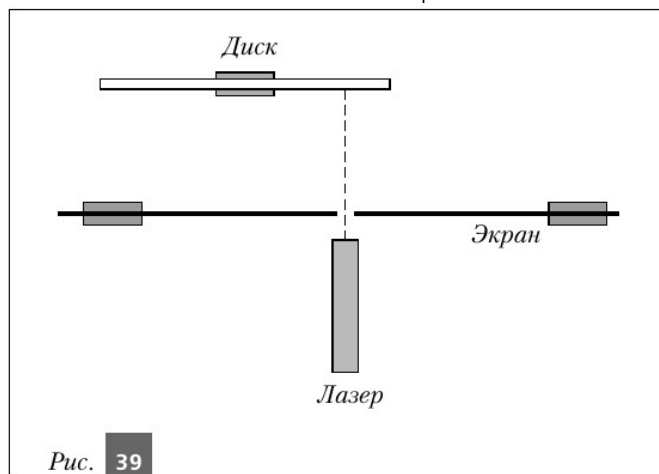
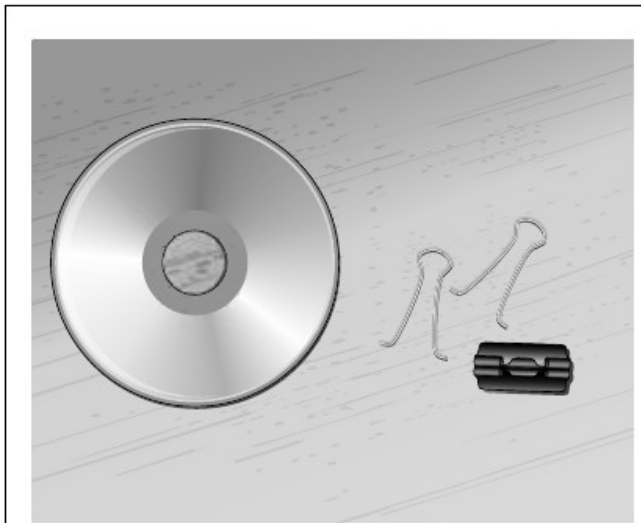
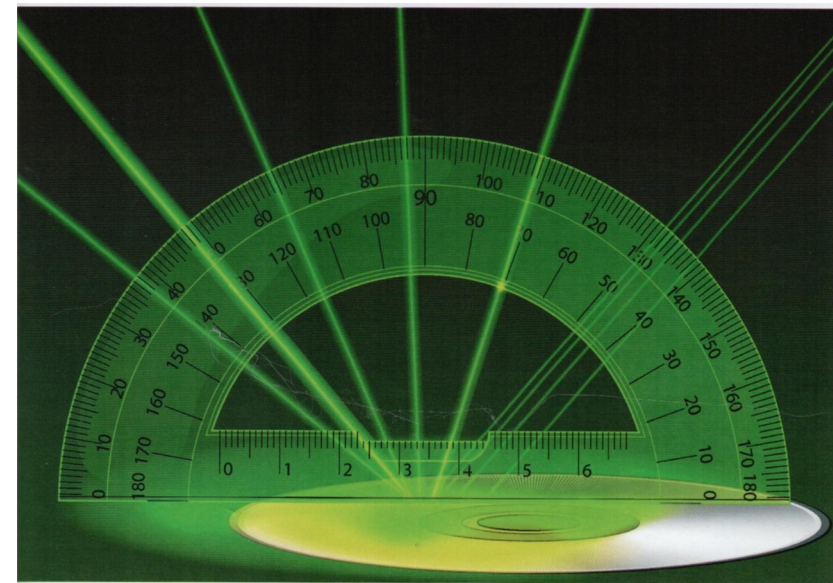
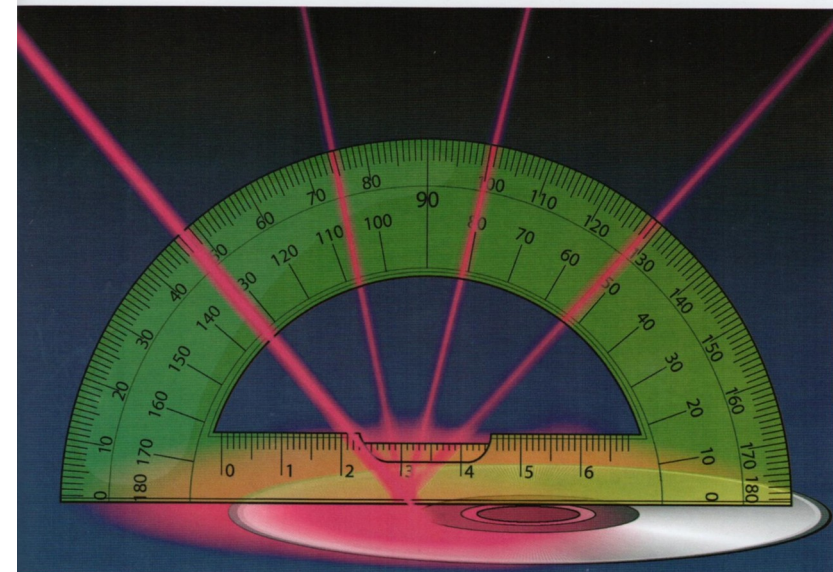


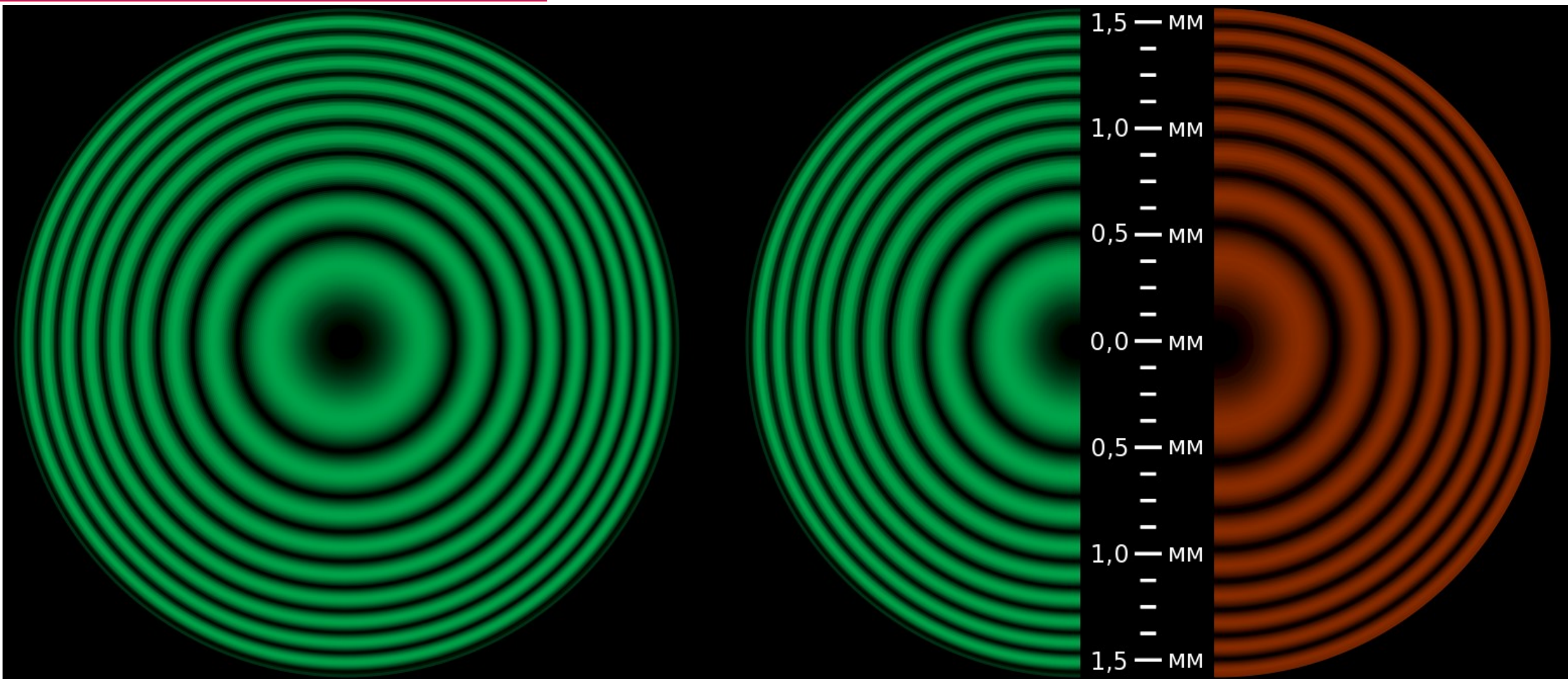
Рис. 39



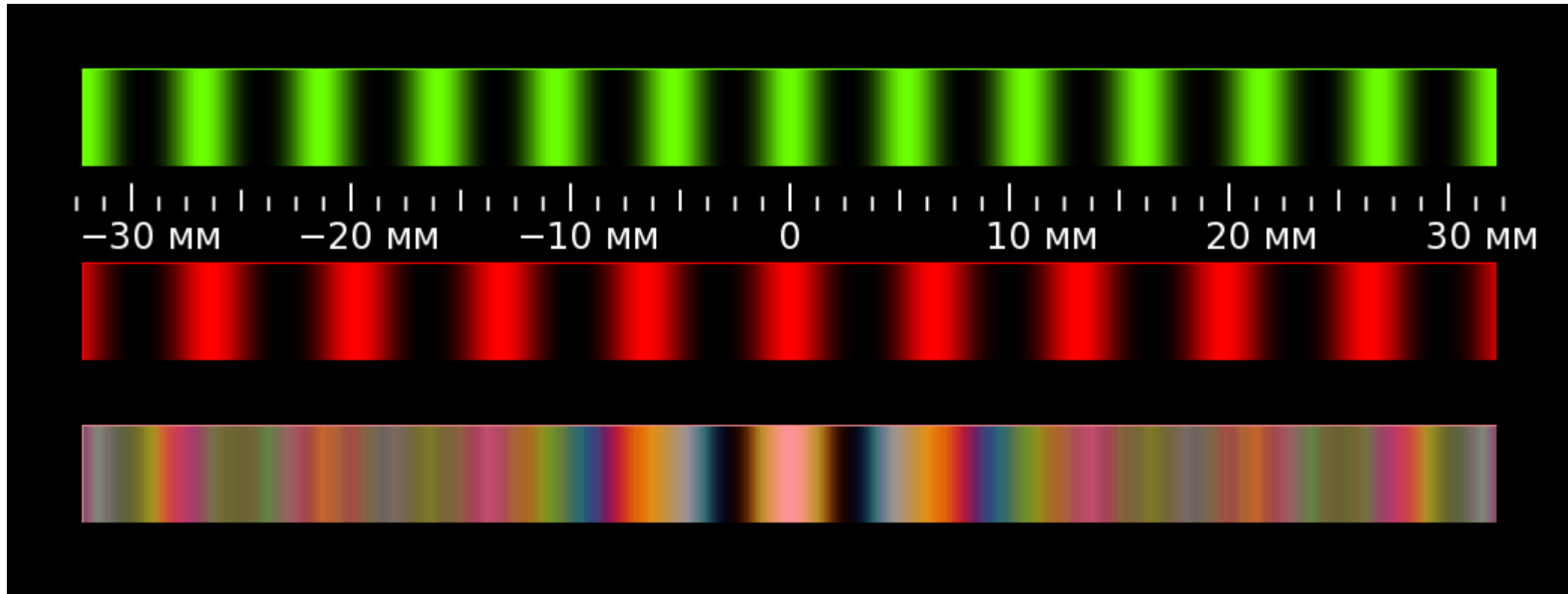
a



### 3.6. Определение радиуса кривизны линзы по кольцам Ньютона



## 3.7. Определение параметров экспериментальной установки (схема Юнга)



# Часть 3. Домашние лабораторные работы

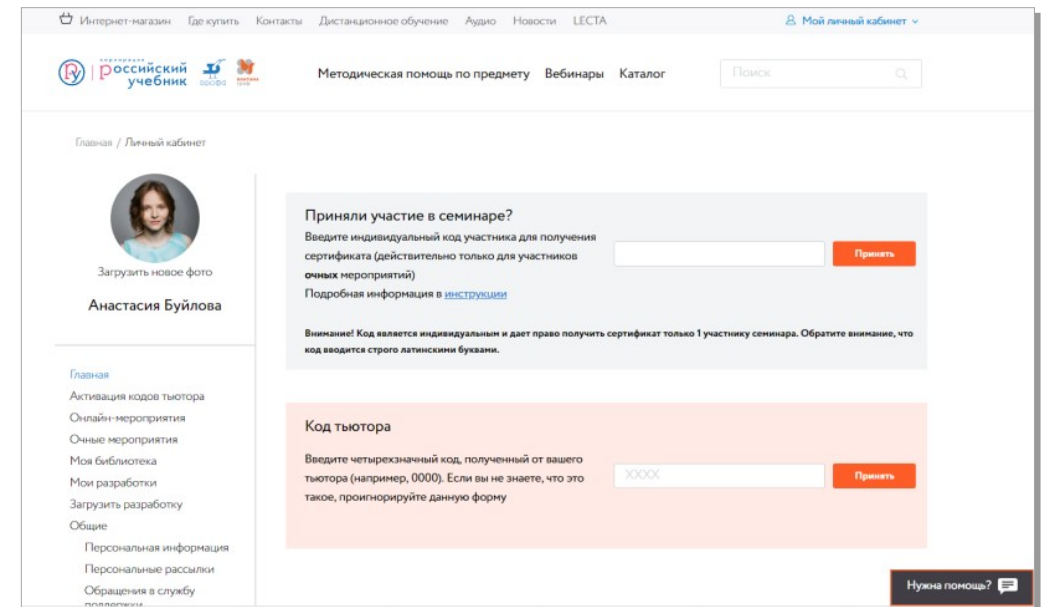
---

11. Изучение отражения света от плоского зеркала
12. Изучение преломления света на границе раздела двух однородных прозрачных сред («вода — воздух»)
13. Измерение фокусного расстояния собирающей линзы
14. Изучение сложной оптической системы, состоящей из двух собирающих линз
15. Определение параметров экспериментальной установки по виду полученной интерференционной картины (на примере схемы Юнга)
16. Определение радиуса кривизны линзы по интерференционной картине колец Ньютона
17. Наблюдение явления дифракции лазерного излучения на поверхности компакт-дисков



# РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ НА САЙТЕ ROSUCHEBNIK.RU И ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ПРЕИМУЩЕСТВАМИ ЛИЧНОГО КАБИНЕТА

- Регистрируйтесь на очные и онлайн-мероприятия
- Получайте сертификаты за участие в вебинарах и конференциях
- Пользуйтесь цифровой образовательной платформой LECTA
- Учитесь на курсах повышения квалификации
- Скачивайте рабочие программы, сценарии уроков и внеклассных мероприятий, готовые презентации и многое другое
- Создавайте собственные подборки интересных материалов
- Участвуйте в конкурсах, акциях и спецпроектах
- Становитесь членом экспертного сообщества
- Сохраняйте архив обращений в службу техподдержки
- Управляйте новостными рассылками





[rosuchebnik.ru](http://rosuchebnik.ru), [rosuchebnik.ru](http://rosuchebnik.ru)

Москва, Пресненская наб., д. 6, строение 2  
+7 (495) 795 05 35, 795 05 45, [info@rosuchebnik.ru](mailto:info@rosuchebnik.ru)

## Нужна методическая поддержка?

Методический центр  
8-800-2000-550 (звонок бесплатный)  
[metod@rosuchebnik.ru](mailto:metod@rosuchebnik.ru)

## Хотите купить?



Официальный интернет-магазин  
учебной литературы [book24.ru](http://book24.ru)



LECTA

Цифровая среда школы  
[lecta.rosuchebnik.ru](http://lecta.rosuchebnik.ru)



Отдел продаж  
[sales@rosuchebnik.ru](mailto:sales@rosuchebnik.ru)

## Хотите продолжить общение?



[youtube.com/user/drofapublishing](https://youtube.com/user/drofapublishing)



[fb.com/rosuchebnik](https://fb.com/rosuchebnik)



[vk.com/ros.uchebnik](https://vk.com/ros.uchebnik)



[ok.ru/rosuchebnik](https://ok.ru/rosuchebnik)