

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ФИЛИАЛ ПГУПС

ОДОБРЕНО

на заседании цикловой комиссии ЕН

протокол № 8 от 28 апреля 2017г.

Председатель цикловой комиссии:

Масайлова Т.А./  /

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

 А.В. Калько  
«28» 04 2017г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по организации и проведению лабораторных и практических работ**

По учебной дисциплине: Физика

Специальность: для всех специальностей

Разработчик: Масайлова Т.А.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по организации и проведению лабораторных и практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Физика» и предназначены для выполнения практических занятий/лабораторных работ обучающимися.

В результате освоения содержания учебной дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов:

- сформированность представлений о роли и месте физики в современной научной картине мира; понимание физической сущности наблюдаемых во Вселенной явлений, роли физики в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач;

- владение основополагающими физическими понятиями, закономерностями, законами и теориями; уверенное использование физической терминологии и символики;

- владение основными методами научного познания, используемыми в физике: наблюдением, описанием, измерением, экспериментом;

- умения обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы;

- сформированность умения решать физические задачи;

- сформированность умения применять полученные знания для объяснения условий протекания физических явлений в природе, профессиональной сфере и для принятия практических решений в повседневной жизни;

- сформированность собственной позиции по отношению к физической информации, получаемой из разных источников.

По рабочей программе учебной дисциплины «Физика» предусмотрено 17 лабораторных и 2 практических работы. К каждой работе дается описание методики проведения. Основное внимание уделено принципам измерения физических величин, вычислению погрешностей, обработке результатов и графическому их отображению. Единицы измерения приведены по Международной системе единиц (СИ).

Прежде чем приступить к выполнению, необходимо повторить соответствующие разделы учебника, познакомиться с содержанием лабораторных и практических работ и правилами техники безопасности. При проведении лабораторных и практических работ, следует внимательно наблюдать за происходящими изменениями, результаты наблюдений заносить в отчеты, записи вести кратко, а приборы зарисовывать. На первом занятии преподаватель дает указания по оформлению лабораторных и практических работ.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

П/п	Название лабораторных и практических работ	Раздел	Количество часов
1.	<b>Лабораторная работа № 1</b> «Изучение равноускоренного движения»	<b>Раздел 1.</b> Механика	2
2.	<b>Лабораторная работа № 2</b> «Проверка закона Бойля-Мариотта.»	<b>Раздел2.</b> Основы молекулярной физики и термодинамики.	2
3.	<b>Лабораторная работа № 3</b> «Измерение влажности воздуха»		2
4.	<b>Лабораторная работа № 4</b> «Измерение поверхностного натяжения жидкости»		2
5.	<b>Лабораторная работа № 5</b> «Исследование электростатического поля с помощью электролитической ванны»	<b>Раздел3.</b> Электродинамика.	2
6.	<b>Лабораторная работа № 6</b> «Определение ёмкости конденсатора и батареи конденсаторов при последовательном и параллельном соединении»		2
7.	<b>Лабораторная работа № 7</b> «Определение сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников»		2
8.	<b>Лабораторная работа №8</b> «Изучение закона Ома для участка цепи.Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»		2
9.	<b>Лабораторная работа №9</b> «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»		2
10.	<b>Лабораторная работа №10</b> «Исследование зависимости мощности потребляемой лампой накаливания от напряжения на её зажимах»		2
11.	<b>Лабораторная работа №11</b> «Определение КПД электрического чайника»		2
12.	<b>Лабораторная работа №12</b> «Изучение явления электромагнитной индукции»		2
13.	<b>Лабораторная работа №13</b> «Изучение зависимости периода колебаний нитяного маятника от		<b>Раздел 4.</b> Колебания и волны

	длины нити»		
14.	<b>Лабораторная работа №14</b> «Определение показателя преломления стекла»	<b>Раздел 5.</b> Оптика	2
15.	<b>Лабораторная работа №15</b> «Определение фокусного расстояния и оптической силы линзы»		2
16.	<b>Лабораторная работа №16</b> «Определение длины световой длины с помощью дифракционной решётки»		2
17.	<b>Лабораторная работа №17</b> «Изучение явления фотоэффекта»	<b>Раздел 6.</b> Элементы квантовой физики.	2
18.	<b>Практическая работа №1</b> «Изучение треков заряженных частиц по готовой фотографии»		2
19.	<b>Практическая работа №2</b> «Астрономическое наблюдение солнечных пятен»	<b>Раздел 7.</b> Эволюция Вселенной.	2

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

При оценке освоенных умений при выполнении практических работ применяется пятибалльная шкала оценивания.

Оценивание лабораторных и практических работ производится в соответствии со следующими нормативными актами:

- Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся;

- Положение о планировании, организации и проведении лабораторных работ и практических занятий.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**Тема: Изучение равноускоренного движения**

**Цель работы:** Ознакомиться с основными закономерностями равноускоренного движения.

**Оборудование:** Желоб известной длины 1 м, угол наклона которого можно изменять и измерять, набор шаров разного размера и материала.

**Теория:**

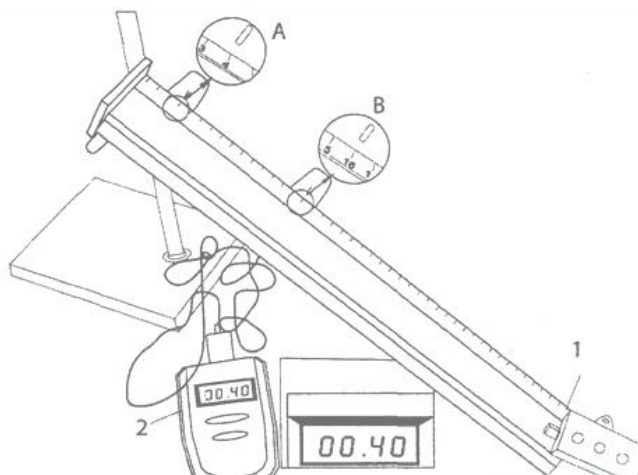
Равноускоренное прямолинейное движение — это такое движение, при котором скорость тела за равные промежутки времени изменяется одинаково, другими словами, это движение с постоянным ускорением ( $a = \text{const}$ )

Для получения результата следует воспользоваться формулами:  $S = at^2/2$ .

Отсюда несложно получить, что ускорение будет равно отношению удвоенного расстояния, делённого на квадрат времени:  $a = 2S/t^2$ .

**Мгновенная скорость** определяется как произведение ускорения на время движения, т.е. промежутка времени от начала движения до того момента, как шарик столкнётся с цилиндром:  $V = at$ .

Схема установки:



**Порядок выполнения работы:**

**Задание №1**

1. Закрепите желоб в штативе на высоте  $h=10$  см
2. Установите стопор на расстоянии  $x = 10$  см. Запустите шарик и измерьте время его движения  $t$ .
3. Установите стопор в новое положение и измерьте время движения шарика.
4. Повторите измерения несколько раз для различных положений стопора. Результаты занесите в таблицу.
5. Вычислите ускорение шарика по формуле равноускоренного движения  $a = \frac{2x}{t^2}$ . Если движение равноускоренное, то величина ускорения не должна меняться от опыта к опыту.
6. Измените угол наклона желоба и повторите упражнение

**Задание №2.**

1. Закрепите желоб в штативе на высоте  $h=10$  см
2. Установите стопор на расстоянии  $x = 90$  см. Запустите шарик и измерьте время его движения  $t$ .
3. Запустите шарик и измерьте те время его движения  $t$ .
4. Повторите опыт с другими шариками, не меняя положения желоба и положения стопора.
5. Результаты занесите в таблицу. Вычислите ускорение шариков по формуле равноускоренного движения.

**Таблица измерений и вычислений:**

<b>H, м</b>	<b>X, м</b>	<b>t, с</b>	<b>a, <math>\frac{м}{с^2}</math></b>

**Задание №3**

Сравните полученные в ходе эксперимента значения ускорения и запишите свой вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Как и во сколько раз изменится ускорение шарика, если синус угла наклона желоба  
А) Увеличить вдвое? Б) Уменьшить втрое?

Ответ: А)...; Б)...

2. Угол наклона желоба равен  $60^\circ$ . Его уменьшили в два раза. Во сколько раз уменьшилось ускорение?
3. Угол наклона был равен  $5^\circ$ . Его увеличили в 9 раз. Во сколько раз увеличилось ускорение?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Тема: Проверка закона Бойля-Мариотта

**Цель:** Исследовать практически зависимость давления от объема для данной массы газов при постоянной температуре.

**Оборудование:** 1. Прибор для изучения газовых законов (на рис.)

2. Барометр

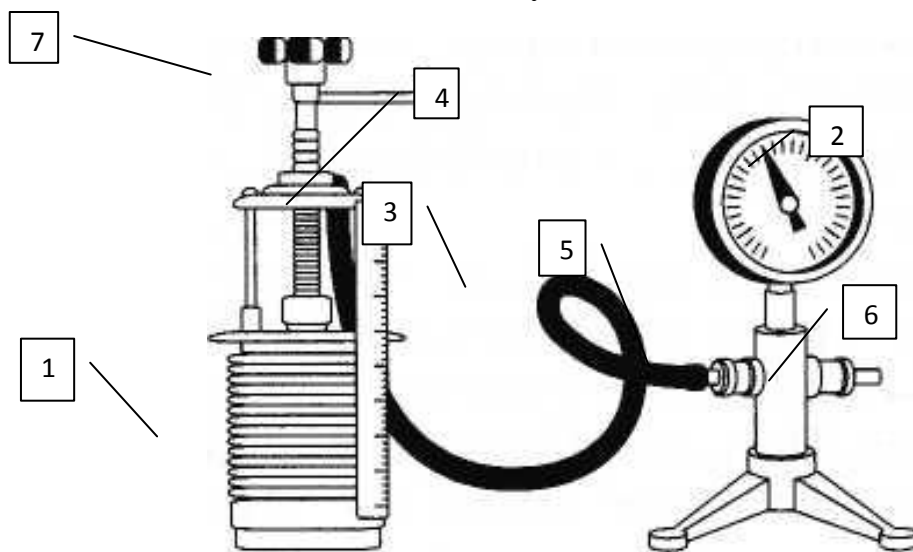
3. Испытуемый газ - воздух

**Теория:** Закон Бойля-Мариотта для изометрического процесса, то есть процесса, протекающего при постоянной температуре ( $T_1=T_2$ ), является частным случаем объединенного газового закона:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ или } \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Можно сказать, что давление данной массы при постоянной температуре изменяется обратно пропорционально его объему. Эту зависимость можно проверить опытным путем.

#### Схема установки:



#### Порядок выполнения работы:

1. Определить цену деления измерительных приборов
2. Собрать установку по рисунку
3. Открыть у манометра краны 5 и 6. Вращением винта 7 установить верхнюю крышку цилиндра против пятого деления шкалы прибора, после чего кран 6 закрыть.
4. Снять показания приборов и данные записать в таблицу.
5. Опыт повторить с той же массой газа (кран 6 не открывать!!!) 2-3 раза, увеличивая объем в сильфоне, и данные записать в таблицу.
6. Вычислить значение постоянной  $C$  для каждого опыта, сравнить результаты измерений и сделать вывод.

#### Таблица измерений и вычислений:

Разряжение газа				Сжатие газа			
№	$V$ , усл.ед.	$P$ , усл.ед.	$C=P*V$	№	$V$ , усл.ед.	$P$ , усл.ед.	$C=P*V$
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			

### **Контрольные вопросы:**

1. Объяснить сущность закона Бойля-Мариотта, пользуясь молекулярно-кинетической теорией.
2. Для изотермического процесса построить график зависимости  $p$  от  $V$ , взяв за исходное давление 1 кг воздуха при нормальных условиях.
3. Производит ли газ давление в состоянии невесомости.
4. Определить массу 20 л воздуха, находящегося при температуре 273 К под давлением 30 атм.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Тема: Определение влажности воздуха

**Цель работы:** научиться пользоваться психрометром Августа и гигрометром и определять относительную влажность воздуха в классной комнате, установить, соответствует ли оно норме.

**Оборудование:** психрометр Августа, конденсационный гигрометр, термометр, диэтиловый эфир, таблицы.

### Теория:

В атмосфере Земли всегда содержатся водяные пары. Их содержание в воздухе характеризуется абсолютной и относительной влажностью. Абсолютная влажность определяется плотностью водяного пара  $\rho$ , находящегося в атмосфере, или его парциальным давлением  $p$ .

Парциальным давлением  $p$  называется давление, которое производил бы водяной пар, если бы все другие газы в воздухе отсутствовали.

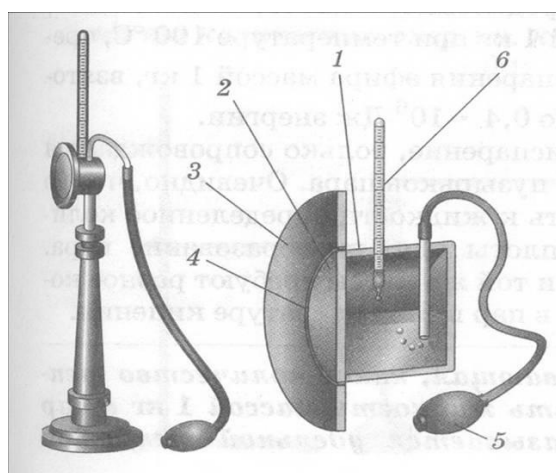
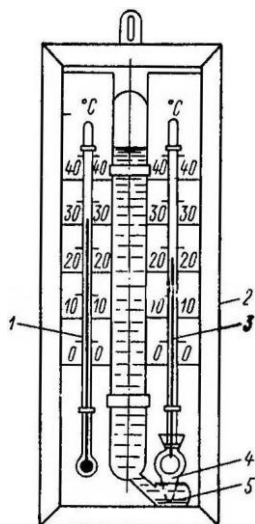
Относительной влажностью  $\varphi$  называется отношение парциального давления  $p$  водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного пара  $p_0$ , при данной температуре. Относительная влажность  $\varphi$  показывает, сколько процентов составляет парциальное давление от давления насыщенного пара при данной температуре и определяется по формулам:  $\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%$

Парциальное давление  $p$  можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона или по точке росы.

Точка росы - это температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе становится насыщенным.

Относительную влажность воздуха можно определить с помощью специальных приборов.

### Схема установки:



### Порядок выполнения работы:

#### I. Работа с психрометром.

1. Изучить устройство психрометра и принцип его действия.
2. Проверить наличие воды в резервуаре и при необходимости долить ее.
3. Снять показания сухого и смоченного термометров и определить разность их показаний.
4. Пользуясь психрометрической таблицей, определить относительную влажность воздуха.
5. Результаты измерений занести в таблицу.
6. Сделать вывод, указав физический смысл измеренной величины.

### Таблица измерений и вычислений 1:

Показания сухого термометра, °С	Показания влажного термометра, °С	Относительная влажность, %

## II. Работа с конденсационным гигрометром.

1. Изучить устройство и принцип действия конденсационного гигрометра.
2. Определить по термометру температуру окружающего воздуха.
3. Определить точку росы - температуру, при которой появляются капельки росы на блестящей поверхности гигрометра (для этого наполнить гигрометр эфиром и продуть через него воздух при помощи груши).
4. По таблице «Давление насыщенного водяного пара и его плотность при различных температурах» определить давление насыщенного пара  $p_0$  при комнатной температуре и парциальное давление  $p$  при температуре росы.
5. Пользуясь формулой вычислить относительную влажность.
6. Результаты измерений занести в таблицу.
7. Сделать вывод, указав физический смысл измеренной величины.

**Таблица измерений и вычислений 2:**

Температура воздуха в комнате $T, ^\circ\text{C}$	Точка росы $T, ^\circ\text{C}$	Давление насыщенного пара при данной температуре $p_0, \text{Па}$	Парциальное давление $p, \text{Па}$	Относительная влажность $\varphi, \%$

### Контрольные вопросы:

1. Какой пар называется насыщенным? Что такое динамическое равновесие; точка росы?
2. Почему показания смоченного термометра меньше, чем сухого?
3. Как, зная точку росы, можно определить парциальное давление?
4. Почему при продувании воздуха через эфир на полированной поверхности стенки камеры гигрометра появляется роса?
5. Сухой и влажный термометры психрометра показывают одинаковую температуру. Какова относительная влажность воздуха?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Тема: Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

**Цель работы:** научиться определять коэффициент поверхностного натяжения воды методом отрыва рамки.

**Оборудование:** весы с разновесом, стакан с водой, штатив лабораторный, пробирка с песком, масштабная линейка, лист бумаги, проволочная рамка на нитях.

**Теория:** Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с энергией молекул, находящихся внутри жидкости. Как и любая механическая система, поверхностный слой жидкости самопроизвольно переходит в такое состояние, при котором потенциальная энергия его минимальна, при этом площадь свободной поверхности жидкости сокращается.

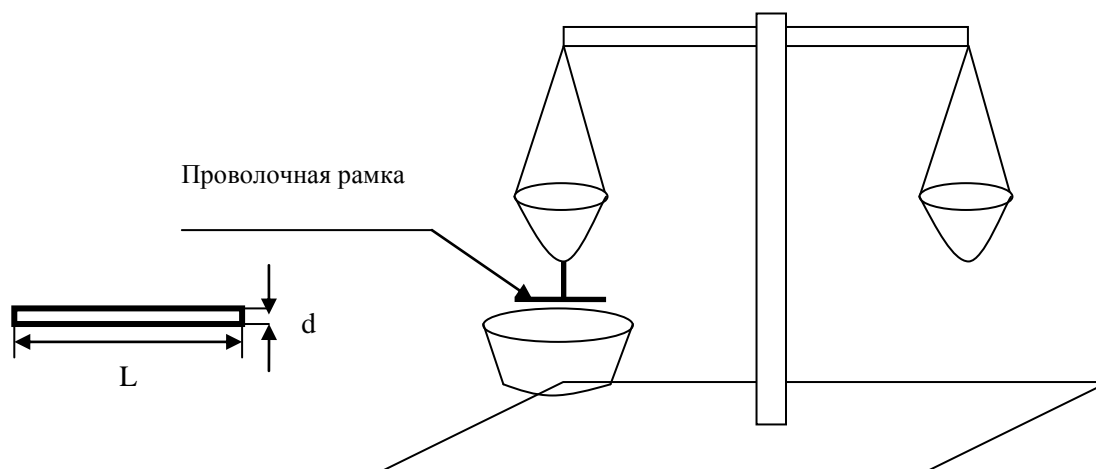
Сила, обусловленная взаимодействием молекул жидкости, вызывающая сокращение ее свободной поверхности и направленная по касательной к этой поверхности, называется силой поверхностного натяжения  $F_{пн}$ .

Величина, равная силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины границы свободной поверхности жидкости, называется коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma$  или просто поверхностным натяжением. Поверхностное натяжение находится по формуле:

$L$ -длина границы свободной поверхности жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения можно определить различными методами: методом отрыва капель, отрыва рамки, методом подъема воды в капилляре.

### Схема установки:



### Порядок выполнения работы:

1. Соберите установку, прикрепите проволочку к чаше весов и уравновесьте чашу с песком.
2. Под чашей весов установить стакан с водой так, чтобы проволочка находилась на 1-2 см.
3. Осторожно горизонтально опустить проволочку рукой так, чтобы, коснувшись воды, она прилипла к ней. Вдоль границы проволочки с жидкостью действует сила поверхностного натяжения, направленная вовнутрь жидкости.
4. Осторожно добавляем песок на первую чашку до отрыва проволочки от воды. Вес добавленного песка и будет равен силе поверхностного натяжения  $\bar{F}$ .  
 $\bar{F} = m\bar{g}$ , где  $m$  - масса песка,  $\bar{g}$  - ускорение силы тяжести
5. Для определения массы добавленного песка осушим фильтровальной бумагой проволочку и уравниваем весы при помощи гирь.
6. Измерим линейкой длину проволочки  $L$  (толщиной  $d$  пренебрегаем).
7. Вычислите погрешность:

$$\delta\sigma = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_T} \cdot 100\%$$

$$|\Delta\sigma| = |\sigma_T - \sigma_{cp}|$$

8. Сделайте вывод.

**Таблица измерений и вычислений:**

№	m, кг	L, м	g, м/с <sup>2</sup>	σ, Н/м	σ · δ%
1					
2					
3					
Среднее					

**Контрольные вопросы:**

1. Почему поверхностное натяжение зависит от рода жидкости?
2. Почему и как поверхностное натяжение зависит от температуры?
3. В двух одинаковых пробирках находится одинаковое количество капель воды. В одной пробирке вода чистая, в другой-с добавкой мыла. Одинаковы ли объемы отмеренных капель? Ответ обоснуйте.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

**Тема:** Исследование электростатического поля с помощью электролитической ванны

**Цель:**

1. Изобразить графически сечение эквипотенциальных поверхностей электростатического поля, созданного заданной конфигурацией зарядов.
2. Используя изображение эквипотенциальных поверхностей, построить силовые линии электрического поля заданной конфигурации зарядов.
3. При помощи полученной картины силовых и эквипотенциальных линий определить полярность зарядов, создающих поле.

**Оборудование:** модульный учебный комплекс МУК-ЭМ1: электролитическая ванна ЭВ1 с водой; амперметр-вольтметр АВ1; генератор напряжений ГН1; проводники Ш4/ Ш1, 6; фишки.

**Теория:**

Источником электрического поля является любой неподвижный заряд. Существует две основные характеристики электрического поля – силовая (напряженность  $\vec{E}$ ) и энергетическая (потенциал  $\varphi$ ).

Напряженность электрического поля  $\vec{E}$  - это физическая величина, равная силе, действующей на положительный единичный точечный заряд, помещенный в данную точку поля  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ .

Значит, силовое электростатическое поле можно представить графически в виде силовых линий, называемых линиями напряженности. Вектор напряженности  $\vec{E}$  в каждой точке такой линии, направлен по касательной к ней и совпадает с ней по направлению. Густота линий характеризует величину напряженности электростатического поля.

Потенциалом электрического поля  $\varphi$  называется энергетическая величина, которая равна потенциальной энергии положительного единичного точечного заряда, помещенного в данную точку поля  $\varphi = \frac{E_{п}}{q}$ . Физический смысл имеет разность потенциалов.

1. Силовая и энергетическая характеристики связаны между собой соотношением  $\vec{E} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$ , где  $\Delta d$  - вектор с модулем  $\Delta d$ , взятый вдоль силовой линии (т.е по нормали к эквипотенциальной поверхности).
2. Геометрическое место точек электростатического поля с одинаковыми потенциалами называют эквипотенциальной поверхностью (ЭП).

Свойства ЭП:

- в каждой точке ЭП вектор напряженности  $\vec{E}$  перпендикулярен к ней и направлен в сторону убывания потенциала.
  - работа по перемещении электрического заряда по одной и той же ЭП равна нулю.
3. При внесении незаряженного проводника в электростатическое поле носители зарядов в нем перераспределяются и возникают так называемые индуцированные заряды.

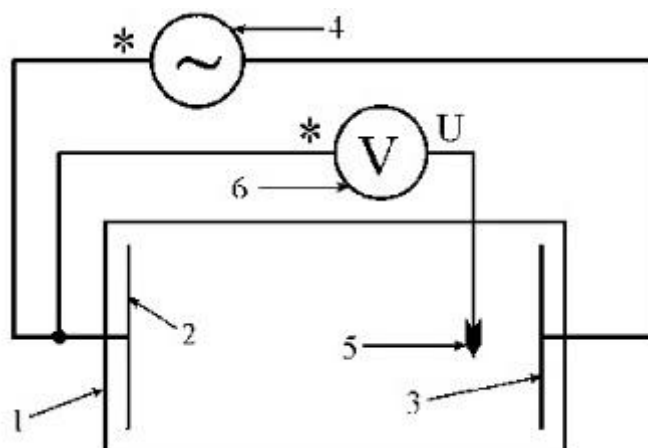
Метод моделирования электростатического поля в проводящей среде основан на аналогии уравнений, описывающих электрическое поле в вакууме и в изотропной проводящей среде. Метод является удобным для практики, так как позволяет получить путем экспериментального моделирования сложную картину электростатического поля, аналитический расчет которого зачастую невозможен из-за сложности граничных условий. Использование переменного тока позволяет предотвратить выделение на электродах составных частей электролита. Для переменного синусоидального тока в электролите переменное электрическое поле не является потенциальным, в каждой точке напряжение изменяется со временем. Однако понятие «эквипотенциальной поверхности» как поверхности постоянно изменяющегося, но одинакового по амплитуде потенциала можно считать справедливым. Разные эквипотенциальные поверхности при этом характеризуются разным значением амплитуды напряжения.

**Описание установки:**

Установка представляет собой прямоугольную ванну 1, в которую погружены два электрода 2 и 3. Электроды подключены к источнику постоянного напряжения 4. Параллельно электроду 2 и зонду 5 подключен вольтметр 6. Если подать на электроды постоянное напряжение, то между ними возникает электрическое поле и вольтметр покажет разность потенциалов между электродом 2 и точкой,

расположенной в ванне, в которую помещен зонд 5. Характеристики и параметры этого поля предстоит исследовать в работе.

#### Схема установки:



#### Порядок выполнения работы:

- 1.Согласуйте с преподавателем конфигурацию исследуемого поля.
- 2.Соберите схему согласно рис. Заполните ванну водой., так чтобы электроды были залиты водой примерно на 2-3 см.
- 3.Начертите в определенном масштабе координатную сетку и отметьте на ней положение и форму электродов.
- 4.Подключите электроды к генератору звуковых частот. Установите произвольное напряжение и частоту в диапазоне от 50 до 200 Гц.
- 5.С помощью вольтметра найдите точки, равноотстоящие по потенциалу(эквипотенциальные поверхности принято проводить так, чтобы между любыми соседними эквипотенциальными поверхностями разность потенциалов была бы одна и та же). Число эквипотенциальных поверхностей не менее пяти. Число точек, принадлежащих одной эквипотенциальной поверхности –не менее семи. Зонд при измерениях держите вертикально.
- Пользуясь координатной сеткой, перенесите эквипотенциальные поверхности, созданные заряженными электродами, в тетрадь.
- 6.По полученной картине эквипотенциальных линий проведите 6-7 силовых линий.
- 7.Оцените величину  $E$ -напряженности электрического поля в разных точках пространства.
- 8.Положите в ванну проводящее тело сложной конфигурации (по указанию преподавателя, например, кольцо).**ОПЕРАЦИЮ ВЫПОЛНЯЙТЕ ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ!**
- 9.Начертите картину поля, повторив п.5-6.
- 10.Оцените величину  $E$ -напряженности электрического поля в разных точках пространства. Докажите, что поле неоднородно.
11. При помощи полученной картины силовых и потенциальных линий определить полярность зарядов, создающих поле.
12. Сделать вывод.

#### Контрольные вопросы:

1. Электрическое поле, его основные физические свойства.
2. Основные параметры электростатического поля: напряженность и потенциал. Дать понятие эквипотенциальной поверхности.

3. Потенциал электростатического поля. Связь напряженности электрического поля с разностью потенциалов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### Тема: Исследование электрического поля заряженного конденсатора

#### Цели:

1. Практически определить емкость конденсатора и сравнить найденное значение с величиной, указанной на конденсаторе.
2. Сравнить емкости при параллельном и последовательном соединениях конденсаторов.

**Оборудование:** набор конденсаторов, двухполюсной ключ, авометр (5 мА), выпрямитель, соединительные провода.

#### Теория:

Отдельные конденсаторы могут быть соединены друг с другом различным образом. При этом во всех случаях можно найти емкость некоторого равнозначного конденсатора, который может заменить ряд соединенных между собой конденсаторов

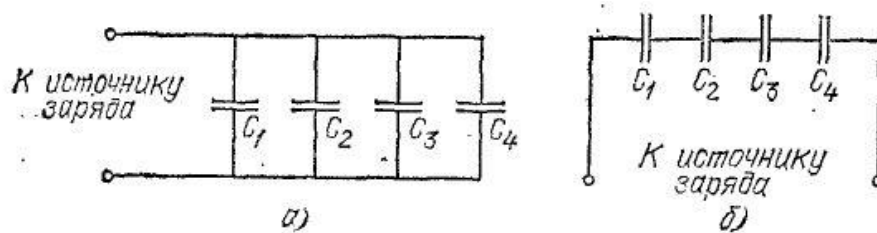


Рис. 1. Соединение конденсаторов: а) параллельное; б) последовательное

В случае параллельного соединения все конденсаторы заряжаются до одной и той же разности потенциалов  $U$ , но заряды на них могут быть различными. Если емкости их равны  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , то соответствующие заряды будут

$$q_1 = C_1 U; q_2 = C_2 U; \dots; q_n = C_n U$$

Общий заряд на всех конденсаторах

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) U$$

и, следовательно, емкость всей системы конденсаторов

$$C = \frac{Q}{U} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Итак, емкость группы параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

В случае последовательно соединенных конденсаторов (рис. 1, б) одинаковы заряды на всех конденсаторах. Действительно, если мы поместим, например, заряд  $+q$  на левую обкладку первого конденсатора, то вследствие индукции на правой его обкладке возникнет заряд  $-q$ , а на левой обкладке второго конденсатора — заряд  $+q$ . Наличие этого заряда на левой обкладке второго конденсатора опять-таки вследствие индукции создает на правой его обкладке заряд  $-q$ , а на левой обкладке третьего конденсатора — заряд  $+q$  и т. д. Таким образом, заряд каждого из последовательно соединенных конденсаторов равен  $q$ . Напряжение же на каждом из этих конденсаторов определяется емкостью соответствующего конденсатора:

$$U_i = \frac{q}{C_i}$$

где  $C_i$  — емкость одного конденсатора. Суммарное напряжение между крайними (свободными) обкладками всей группы конденсаторов

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)$$

Следовательно, емкость всей системы конденсаторов

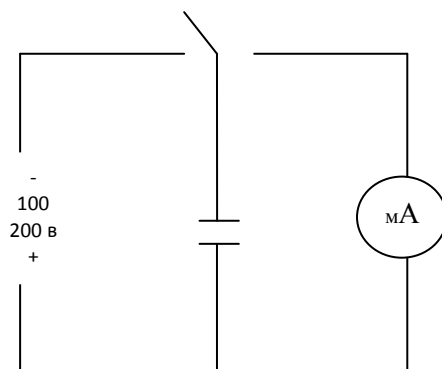
$$C = \frac{q}{U}$$



определяется выражением

$$\frac{1}{C} = \frac{U}{q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Схема установки:



**Порядок выполнения работы:**

1. Составляют электрическую цепь по схеме.
2. Заряжают конденсатор, замкнув на некоторое время цепь с источником тока переключателем. Затем, сосредоточив внимание на стрелке гальванометра, быстрым движением переключателя замыкаем ключ на миллиамперметр и замечаем на шкале максимальное отклонение (отброс стрелки). Повторять опыт несколько раз, чтобы точнее заметить показания стрелки миллиамперметра и вычисляют коэффициент пропорциональности.

$$K = n/C$$

3. Прodelывают этот опыт с конденсаторами другой емкости и результаты измерений и вычислений записывают в таблицу.
4. Включают конденсатор неизвестной емкости  $C_x$  и определяют, на сколько делений отклоняется стрелка гальванометра, в этом случае, зная  $K$ , находим:

$$C_x = n/K$$

5. Берут два конденсатора известной емкости и включают их в цепь, сначала параллельно, затем – последовательно. Каждый раз определяют емкость соединенных конденсаторов.
6. Сделать выводы.

**Таблица измерений и вычислений 1:**

№	Емкость конденсатора $C$ , мкФ	Число делений по шкале $n$ , дел	Коэффициент пропорциональности $K$ , 1/мкФ
1			
2			
3			
4			

**Таблица измерений и вычислений 2:**

№	Соединение конденсаторов	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкФ	$C_б$ , мкФ	Отброс стрелки	$K=n/C$
1	Параллельное					
2	Последовательное					

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое электрическая емкость? От чего она зависит? В каких единицах она измеряется?

2. Как вычислить емкость плоского, цилиндрического, сферического конденсаторов?
3. Как можно измерить величину заряда конденсатора?
4. Какой конденсатор называется плоским? Чему равна его емкость?
5. Какую опасность представляют собой обесточенные цепи с имеющимися в них конденсаторами?
6. Изменится ли разность потенциалов пластин плоского конденсатора, если одну из них заземлить?
7. Два конденсатора емкостью 5 и 7 мкФ последовательно подсоединены к источнику с разностью потенциалов 200 В. Каковы будут заряды и разность потенциалов батареи, если конденсаторы отсоединить от источника и соединить параллельно?
8. Одна из пластин плоского конденсатора соединена с электрометром, вторая заземлена. Как изменятся показания электрометра при перемещении одной из пластин параллельно другой пластине?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### Тема: Определение удельного сопротивления проводника

**Цель:** Определить практически удельное сопротивление проводника и с помощью таблицы установить, из какого материала данный проводник.

**Оборудование:** Источник тока, исследуемый проводник, амперметр, вольтметр, соединительные провода, ключ, штангенциркуль.

### Теория:

Если известны геометрические размеры металлического проводника и материал, из которого он изготовлен, то его сопротивление определяют по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

где  $l$  — длина проводника, выраженная в метрах (м),  $S$  — площадь поперечного сечения, выраженная в квадратных миллиметрах (мм<sup>2</sup>),  $\rho$  — удельное сопротивление, т. е. сопротивление данного проводника длиной 1 м и сечением 1 мм<sup>2</sup> при температуре 20 °С.

Прямо пропорциональная зависимость сопротивления проводника от его длины объясняется тем, что с увеличением длины возрастает и количество препятствий, встречаемых электронами на пути своего движения. Наличие же обратно пропорциональной зависимости между сопротивлением проводника и площадью его поперечного сечения объясняют следующим образом: чем больше поперечное сечение проводника, тем больший заряд проходит через него за время, равное 1 с, т. е. тем больше сила тока в цепи. Сила тока возрастает потому, что сопротивление проводника становится меньше.

Удельное сопротивление характеризует собой внутреннюю структуру проводников, поэтому различно у разных металлов и их сплавов.

Единицей удельного сопротивления является  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

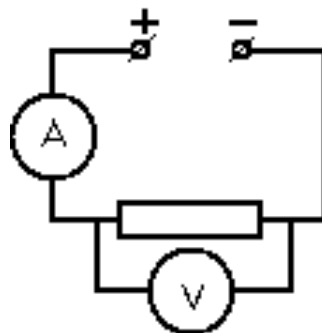
Эту единицу легко получить из выше приведенной формулы, а именно

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Если соединить три одинаковых проводника последовательно, то сопротивление увеличится в три раза, так как сопротивление прямо пропорционально длине проводника. Соединение трех одинаковых проволок параллельно практически означает, что площадь поперечного сечения проводника утроилась, а длина осталась той же. Вместе с тем сопротивление этого проводника уменьшилось в три раза по сравнению с исходным значением

Измерение удельного сопротивления проводника и сравнение его с табличным позволяет иногда установить вещество, из которого изготовлен проводник.

### Схема электрической цепи:



### Порядок выполнения работы:

1. Составить электрическую цепь по схеме изображенной на рис.
2. Цепь замкнуть, измерить силу тока в реостате и напряжение на нем.
3. Определить сопротивление реостата по формуле (закон Ома для участка цепи):  $R = \frac{U}{I}$
4. Измерить диаметр  $D$  витка.

5. Подсчитать число витков  $N$  на нем. Для этого подсчитать количество витков  $N$ . Определить длину проволоки по формуле:  $l = \pi DN$
6. Определить диаметр проволоки при помощи штангенциркуля.
7. Найти площадь поперечного сечения:  $S = \frac{\pi d^2}{4}$
8. Вычислить удельное сопротивление:  $\rho = \frac{RS}{l}$
9. По таблице «Удельное сопротивление некоторых веществ» выберете то вещество, которое по удельному сопротивлению близко к вашему значению и запишите значение  $\rho$  этого вещества в таблицу.
10. Сравнить полученный результат с табличным значением  $\rho_T$  и вычислить относительную погрешность.

$$\delta\rho = \frac{\rho_T - \rho}{\rho_T} \cdot 100\%$$

11. Результаты измерений, вычислений, табличные данные записать в таблицу.
12. Сделать вывод.

#### Таблица измерений и вычислений:

№	U, В	I, А	R, Ом	D, м	N, ВИТК	l, м	d, м	S, мм <sup>2</sup>	$\rho$ , Ом·м	$\delta\rho$ , %

#### Контрольные вопросы:

1. Объяснить на основе электрической теории зависимость сопротивления проводника от его длины, площади поперечного сечения и материала.
2. Удельное сопротивление  $2,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Что это означает? Где можно использовать этот материал?
3. Как изменится напряжение на участке электрической цепи, если медную проволоку на этом участке цепи заменить никелиновой?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

**Тема:** Изучение закона Ома для участка цепи

**Цель:** Проверить закон Ома, изучить основные принципы работы цепи постоянного тока.

**Оборудование:** Источник тока, реостат, соединительные провода, набор сопротивлений, лампочка, вольтметр, амперметр.

**Теория:**

Немецкий физик Георг Ом (1787—1854) в 1826 г. обнаружил, что отношение напряжения  $U$  между концами металлического проводника, являющегося участком электрической цепи, к силе тока  $I$  в цепи есть величина постоянная:

$$\frac{U}{I} = R = \text{const}$$

Эту величину  $R$  называют *электрическим сопротивлением* проводника.

Единица электрического сопротивления в СИ — *ом* (Ом). Электрическим сопротивлением 1 Ом обладает такой участок цепи, на котором при силе тока 1 А напряжение равно 1 В:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}$$

Опыт показывает, что электрическое сопротивление проводника прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади  $S$  поперечного сечения:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

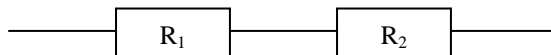
Постоянный для данного вещества параметр  $\rho$  называется *удельным электрическим сопротивлением* вещества.

Экспериментально установленную зависимость силы тока  $I$  от напряжения  $U$  и электрического сопротивления  $R$  участка цепи называют *законом Ома для участка цепи*:

$$I = \frac{U}{R}$$

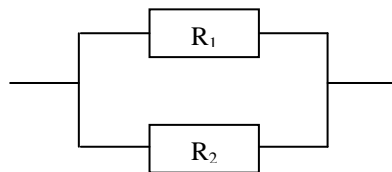
Сила тока  $I$  прямо пропорциональна напряжению  $U$  и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению  $R$  участка цепи.

Последовательное соединение:



Эквивалентное сопротивление рассчитывается по формуле:  $R = R_1 + R_2$

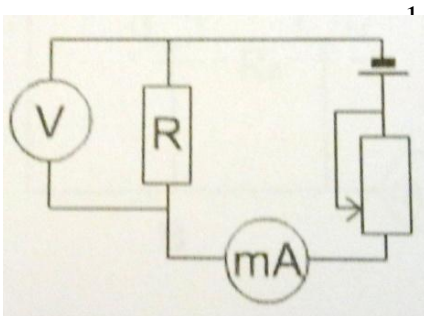
Параллельное сопротивление:



Эквивалентное сопротивление вычисляется по формуле:  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

**Порядок выполнения работы:**

Задание 1:



Соберите цепь, как показано на рисунке, используя сопротивление 50 Ом. Поставьте реостат в среднее положение.

Измерьте силу тока и напряжение на сопротивлении. Занесите данные в таблицу.

Вычислите величину сопротивления.

Измените положение реостата. Снова измерьте силу тока и напряжение.

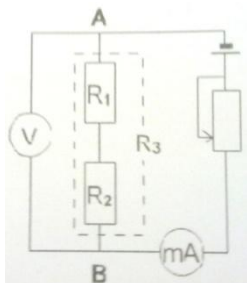
Повторите п.3. несколько раз.

Поменяйте сопротивление 50 Ом на 100 Ом и повторите измерения.

Сравните значение сопротивлений, полученных при различных

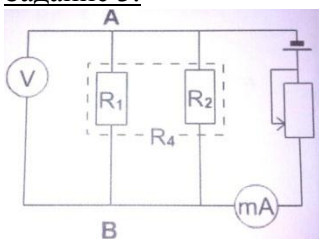
напряжениях и сделайте вывод.

**Задание 2:**



Соберите цепь, как показано на рисунке, используя сопротивления 50 Ом и 100 Ом. Измерьте силу тока через амперметр и напряжение между точками А и В. Вычислите величину эквивалентного сопротивления  $R_3$ .

**Задание 3:**



Соберите цепь, как показано на рисунке, используя сопротивления 50 Ом и 100 Ом. Измерьте силу тока через амперметр и напряжение между точками А и В. Вычислите величину эквивалентного сопротивления  $R_4$ . Сделайте вывод о том, как меняются значения сопротивлений при последовательном и при параллельном соединении.

**Таблица измерений и вычислений:**

	№	U, В	I, А	R, Ом	$R_{\text{задан}}$ , Ом
$R_1$	1				
	2				
	3				
$R_2$	1				
	2				
	3				

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

**Тема: Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока**

**Цель:** Научиться определять ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление.

**Оборудование:** Амперметр, источник электрической энергии, соединительные провода, вольтметр, реостат 6-10 см, ключ.

**Теория:**

Электрический ток – это направленное движение электрических зарядов. В металлических проводниках этими зарядами являются электроны. За направление тока принято считать направление движения положительно заряженных частиц (электроны в металлах движутся против тока). Характеристиками тока являются величины – сила тока  $I$  и плотность тока  $j$ . Под силой тока понимают скалярную величину численно равную заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в времени.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Плотность тока – это вектор, направленный по току и численно равный силе тока, приходящейся на единицу площади  $S$  поперечного сечения проводника.

$$j = \frac{I}{S} = \frac{dq}{S \cdot dt}$$

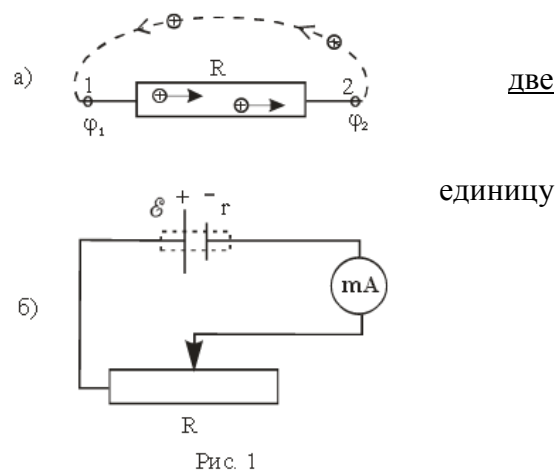
Чтобы по проводнику (имеющему свободные заряды) длительное время шел электрический ток, необходимо все это время между концами проводника поддерживать разность потенциалов ( $\phi_1 - \phi_2$ ). А это значит заряды, приходящие в точку 2 (рис. 1а), необходимо каким-то образом перемещать обратно в точку 1, где потенциал  $\phi_1 (\phi_1 > \phi_2)$ . Силы электрического поля, имеющего место внутри проводника, сделать это не могут, т.к. оно (поле) направлено к точке 2. Следовательно, работу по перемещению положительных зарядов из точки 2 в точку 1 могут совершать только внешние силы, силы неэлектрического происхождения (например, механические силы, силы химической природы). Эти силы называются сторонними силами. На практике часто в качестве сторонних сил (химической природы) используются силы, работающие внутри источника тока. Именно они перемещают заряды от точки с меньшим потенциалом («-» клемма) к точке с большим потенциалом («+» клемма) (рис. 1б), увеличивая, кстати, их энергию. Важной характеристикой источника тока, связанной с работой сторонних сил, является величина называемая электродвижущей силой (ЭДС) источника. ЭДС ( $\mathcal{E}$ ) источника численно равна работе, которую совершают сторонние силы при перемещении единицы положительного заряда с «-» клеммы на «+» клемму. Ясно, что чем больше ЭДС источника, тем большую работу может совершить электрический ток на внешнем участке цепи, где поле создается за счет работы сторонних сил. ЭДС источника тока измеряется в

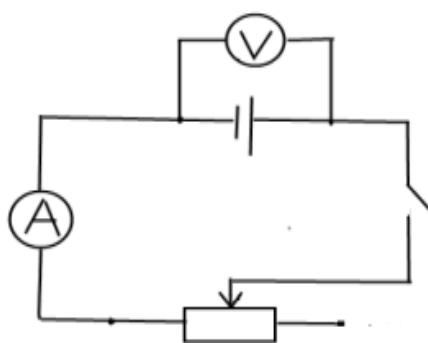
Другой характеристикой источника тока является величина, называемая внутренним сопротивлением источника ( $r$ ), измеряемая в вольтах.

Связь между  $I$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $r$  сформулирована в законе Ома для полной цепи.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

**Схема электрической цепи:**





**Порядок выполнения работы:**

1. Рассмотреть шкалы амперметра и вольтметра, определить цену деления.
2. Составить электрическую цепь по схеме, движок реостата поставить в среднее положение.
3. Замкнуть цепь. Записать величины тока  $I_1$  и напряжения  $U_1$ . Разомкнуть цепь, записать показания вольтметра.
4. Передвинув движок реостата, записать новые значения силы тока и напряжения  $I_2$  и  $U_2$ . Разомкнуть цепь, записать показания вольтметра.
5. Вычислить значение внутреннего сопротивления источника электрической энергии

$$r = \frac{\varepsilon}{I} - R$$

6. Результаты всех измерений и вычислений записать в таблицу. Сравнить значения  $U_1$  и  $U_2$  с величиной  $\varepsilon$ .
7. Сделать вывод.

**Таблица измерений и вычислений:**

№	I, А	U, В	$\varepsilon$ , В	R, Ом
1				
2				

**Контрольные вопросы:**

1. В каком случае результат работы получится более точным: для батарейки карманного фонаря или для кислотного аккумулятора?
2. Определить сопротивление внешнего участка цепи, пользуясь результатами полученных измерений.
3. Объяснить, почему внутренне сопротивление батареи возрастает при последовательном соединении аккумуляторов и уменьшается при параллельном соединении.
4. В каком случае вольтметр, включенный на полюсы генератора показывает ЭДС и в каком – напряжение на концах внешнего участка цепи? Можно ли его так же считать и напряжением на концах внутреннего участка цепи?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

**Тема:** Исследование зависимости мощности, потребляемой лампой накаливания, от напряжения на ее зажимах.

**Цель:** Исследовать практически зависимость мощности, потребляемой лампой накаливания от напряжения на ее зажимах. Построить график этой зависимости.

**Оборудование:** Источник электрической энергии, осветитель с лампой, амперметр, вольтметр, ключ, реостат ползунков, соединительные провода.

**Теория:**

Перенос единичных зарядов в проводнике из точки А в точку В производится под действием электрического напряжения, которое совершает работу. При различных значениях напряжения и величине заряда, выполняется различная работа, следовательно, необходимо оценить величину скорости передачи (преобразования) энергии. Эта величина называется **электрической мощностью** и характеризует выполненную работу за единицу времени:

$$P = \frac{A}{\Delta t}$$

Работа электрического тока при переносе одного заряда численно равна значению напряжения на участке АВ, тогда:

$$P = \frac{U}{\Delta t}$$

Умножив значение мощности для одного заряда на число перенесённых зарядов, получим значение мощности электрического тока:

$$P = \frac{U}{\Delta t} \cdot q$$

Учитывая, что отношение величины заряда ко времени равно величине протекающего тока, получим:

$$P = U \cdot I = [1В] \cdot [1А] = [1Вт]$$

Величина электрической мощности **измеряется в ваттах (Вт) или в вольт-амперах (ВА)**, однако, эти величины не являются тождественными. Хотя произведение силы тока, выраженной в амперах на напряжение, выраженное в вольтах, даёт величину вольт-амперы, она используется для характеристики несколько «другой» мощности, которую мы рассмотрим позже, так как она пока не связана с изучаемыми характеристиками.

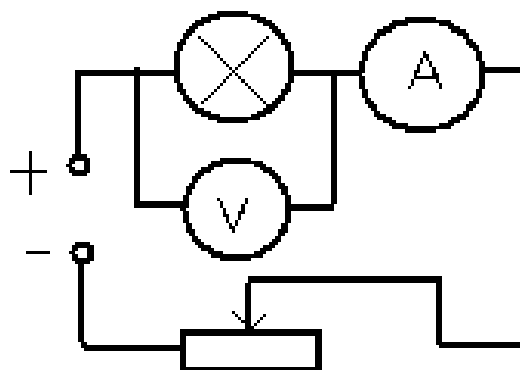
Тогда работа тока равна мощности, умноженной на время:

$$A = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = [1В] \cdot [1А] \cdot [1с] = [1Дж] \quad (6.1)$$

Величина работы электрического тока измеряется в **джоулях (Дж)**. Применяя закон Ома и следствия из него, получим еще два выражения для вычисления электрической мощности:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

**Схема установки:**



### Порядок выполнения работы:

1. Составить цепь по схеме
2. Замкнуть цепь и при помощи реостата установить наименьшее значение напряжения. Записать показания вольтметра и амперметра.
3. Постепенно выводя реостат, записывая значения напряжения и силы тока до тех пор, пока не будет достигнуто напряжение, на которое рассчитана лампочка (номинальное напряжение).
4. Для каждого значения мощность, потребляемую лампой, подсчитать по формуле
 
$$P = UI$$
5. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
6. Построить график зависимости мощности от напряжения.
7. Сделать вывод.

### Таблицы измерений и вычислений:

№	Напряжение U, В	Сила тока I, А	Мощность P, Вт
1			
2			
3			
4			
5			

### Контрольные вопросы:

1. Чем спираль стоваттной лампы накаливания отличается от спирали лампы двадцативаттной/двадцатипятиваттной?
2. Почему газополные лампы долговечнее пустотных?
3. Сила тока, протекающая по нити лампы, увеличилась в два раза. Определить, во сколько раз увеличилась потребляемая лампой мощность:
  - Для лампы с угольной нитью
  - Для лампы с металлической нитью
 Ответить на этот же вопрос, если в два раза увеличилось напряжение на зажимах лампы.
4. Для освещения елки применили 20 шестивольтных лампочек, соединенных последовательно и включенных в городскую сеть (120 В). После того, как одна лампочка перегорела, осталось 19 лампочек снова соединенных последовательно и включенных в сеть. В каком случае в комнате было светлее: когда горело 20 лампочек или когда стало 19?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

**Тема:** Определение КПД электрического чайника.

**Цель:** Определить практически КПД электрического чайника.

**Оборудование:** Электрический чайник, источник тока, термометр, секундомер, вода.

**Теория:**

Электрическим нагревателем является участок цепи, где в результате большего, чем в подводящих проводах, сопротивления выделяется большее количество теплоты  $Q = I^2 R t$ . Это может быть проволока с большим удельным сопротивлением. Мощность нагревателя при заданном напряжении питания тем больше, чем меньше его сопротивление  $P = U^2 / R$ . Например, чем короче спираль и чем толще проволока, тем больше мощность нагревателя и тем больший ток он потребляет.

Коэффициент полезного действия в общем виде определяется  $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100\%$ . Для случая электрического чайника, в качестве элементного водонагревателя, полезным эффектом является нагревание воды, а затраченным – работа электрического тока, поэтому выражение для расчёта КПД

электрического чайника принимает вид  $\eta = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{P \cdot \tau} \cdot 100\%$ , где:

$c$  – удельная теплоёмкость воды ( $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ );

$m$  – масса воды в электрическом чайнике, которая определяется по плотности и объёму ( $m = \rho \cdot V$ ),  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$\Delta t = t - t_0$  – изменение температуры воды в чайнике;

$P$  – мощность электрического чайника, которая определяется по паспорту;

$\tau$  – время, за которое вода в электрическом чайнике нагревается до температуры кипения.

**Порядок выполнения работы:**

1. Рассмотрите электрочайник. По паспортным данным определите электрическую мощность электроприбора  $P$ .
2. Налейте в чайник воду объёмом  $V$ , равным 1 л или 1,5 л.
3. Измерьте с помощью термометра начальную температуру воды  $t_1$ .
4. Включите чайник в электрическую сеть и нагревайте воду до кипения.
5. Определите по таблице температуру кипения воды  $t_2$ .
6. Измерьте промежуток времени, в течение которого нагревалась вода  $\Delta t$ .
7. Используя данные измерений, вычислите:
  - а) совершенную электрическим током работу, зная мощность чайника  $P$  и время нагревания воды  $\tau$ , по формуле  $A_{\text{эл. тока}} = P \cdot \tau$
  - б) количество теплоты, полученное водой и равное полезной работе,  $Q_{\text{нагр}} = cm(t_2 - t_1)$
8. Рассчитайте коэффициент полезного действия электрочайника по формуле

$$\eta = \frac{Q}{A_3} \cdot 100\% = \frac{cm(t_2 - t_1)}{P \cdot \tau} \cdot 100\%$$

9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу

Мощность чайника $P$ , Вт	Объём воды $V$ , м <sup>3</sup>	Начальная температура воды $t_1$ , °C	Время одного нагревания воды в чайнике $\tau$ , с	Конечная температура воды $t_2$ , °C	Совершённая эл. током работа $A_{\text{эл. тока}}$ , Дж	Количество теплоты $Q_{\text{нагр.}}$ , Дж	КПД чайника $\eta$ , %

10. Повторите эксперимент с чайником другой мощности.

11. Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как рассчитать количество теплоты, выделяющегося в проводнике при протекании по нему тока, зная сопротивление этого проводника?
2. Почему спираль электрочайника изготавливают из проводника большой площади сечения? Дайте развёрнутый ответ.
3. Приведите примеры других электроприборов, в которых нагревательным элементом является спираль. Чем эти приборы отличаются друг от друга? Дайте развёрнутый ответ.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

**Цель работы:** изучить условия возникновения индукционного тока, ЭДС индукции.

**Оборудование:** катушка, два полосовых магнита, миллиамперметр.

**Теория:**

Взаимная связь электрических и магнитных полей была установлена выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Он открыл явление **электромагнитной индукции**.

Многочисленные опыты Фарадея показывают, что с помощью магнитного поля можно получить электрический ток в проводнике.

**Явление электромагнитной индукции** заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называется **индукционным**.

В электрической цепи (рисунок 1) возникает индукционный ток, если есть движение магнита относительно катушки, или наоборот. Направление индукционного тока зависит как от направления движения магнита, так и от расположения его полюсов. Индукционный ток отсутствует, если нет относительного перемещения катушки и магнита.



Рисунок 1.

Строго говоря, при движении контура в магнитном поле генерируется не определенный ток, а определенная э. д. с.

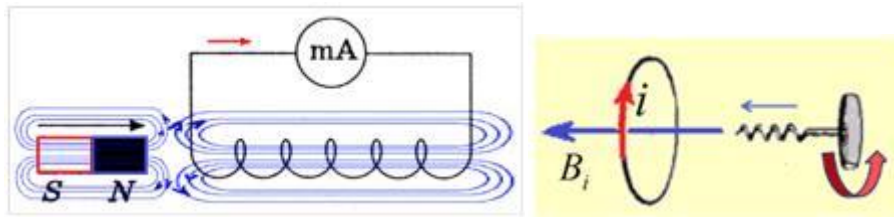


Рисунок 2.

Фарадей экспериментально установил, что *при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции  $E_{\text{инд}}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:*

$$E_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Эта формула выражает **закон Фарадея: э. д. с. индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.**

Знак минус в формуле отражает **правило Ленца**.

В 1833 году Ленц опытным путем доказал утверждение, которое называется **правилом Ленца: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.**

**При возрастании магнитного потока  $\Phi > 0$ , а  $\varepsilon_{\text{инд}} < 0$ , т.е. э. д. с. индукции вызывает ток такого направления, при котором его магнитное поле уменьшает магнитный поток через контур.**

**При уменьшении магнитного потока  $\Phi < 0$ , а  $\varepsilon_{\text{инд}} > 0$ , т.е. магнитное поле индукционного тока увеличивает убывающий магнитный поток через контур.**

**Правило Ленца** имеет глубокий **физический смысл** – оно выражает закон сохранения энергии: если магнитное поле через контур увеличивается, то ток в контуре направлен так, что его магнитное

поле направлено против внешнего, а если внешнее магнитное поле через контур уменьшается, то ток направлен так, что его магнитное поле поддерживает это убывающее магнитное поле.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой — слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро. В каждом из проведённых в этой работе опыте направление индукционного тока определяется правилом Ленца. Порядок определения направления индукционного тока показан на рисунке 2.


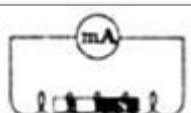
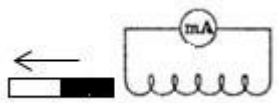
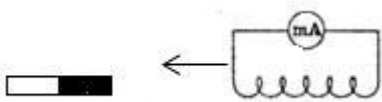
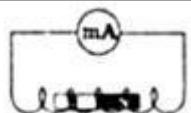
На рисунке синим цветом обозначены силовые линии магнитного поля постоянного магнита и линии магнитного поля индукционного тока. Силовые линии магнитного поля всегда направлены от N к S — от северного полюса к южному полюсу магнита.

По правилу Ленца индукционный электрический ток в проводнике, возникающий при изменении магнитного потока, направлен таким образом, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Поэтому в катушке направление силовых линий магнитного поля противоположно силовым линиям постоянного магнита, ведь магнит движется в сторону катушки. Направление тока находим по правилу буравчика: если буравчик (с правой нарезкой) ввинчивать так, чтобы его поступательное движение совпало с направлением линий индукции в катушке, тогда направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукционного тока.

Поэтому ток через миллиамперметр течёт слева направо, как показано на рисунке 1 красной стрелкой. В случае, когда магнит отодвигается от катушки, силовые линии магнитного поля индукционного тока будут совпадать по направлению с силовыми линиями постоянного магнита, и ток будет течь справа налево.

### Порядок выполнения работы:

1. Подготовьте для отчета таблицу и по мере проведения опытов заполните её.

№ п/п	Действия с магнитом и катушкой	Показания миллиамперметра, мА	Направления отклонения стрелки миллиамперметра (вправо, влево или не отклоняется)	Направление индукционного тока (по правилу Ленца)
1	Быстро вставить магнит в катушку северным полюсом			
2	Оставить магнит в катушке неподвижным после опыта 1			
3	Быстро вытащить магнит из катушки			
4	Быстро приблизить катушку к северному полюсу магнита			
5	Оставить катушку неподвижной после опыта 4			

6	Быстро вытащить катушку от северного полюса магнита			
7	Медленно вставить в катушку магнит северным полюсом			
8	Медленно вытащить магнит из катушки			
9	Быстро вставить в катушку 2 магнита северными полюсами			
10	Быстро вставить магнит в катушку южным полюсом			
11	Быстро вытащить магнит из катушки после опыта 10			
12	Быстро вставить в катушку 2 магнита южными полюсами			

2. Записать общий вывод по работе на основе проведённых наблюдений.

### Контрольные вопросы.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

**Тема:** Исследование зависимости периода и частоты свободных колебаний нитяного маятника от длины его нити

**Цель работы:** выяснить, как зависит период и частота свободных колебаний нитяного маятника от его длины.

**Оборудование:** штатив с муфтой и лапкой, шарик с прикрепленной к нему нитью длиной 130 см, протянутой сквозь кусочек резины, часы с секундной стрелкой или метроном.

**Теория:**

Математический маятник — осциллятор, представляющий собой механическую систему, состоящую из материальной точки, находящейся на невесомой нерастяжимой нити или на невесомом стержне в однородном поле сил тяготения. Период малых собственных колебаний математического маятника длины  $L$  неподвижно подвешенного в однородном поле тяжести с ускорением свободного падения  $g$  равен

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

и не зависит от амплитуды колебаний и массы маятника.

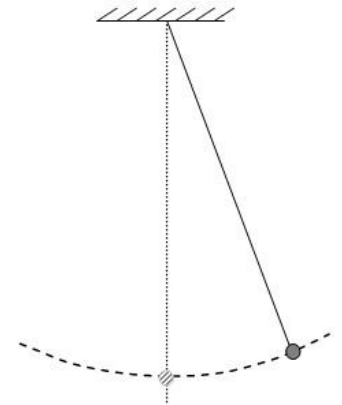
Плоский математический маятник со стержнем — система с одной степенью свободы. Если же стержень заменить на растяжимую нить, то это система с двумя степенями свободы со связью.

При малых колебаниях физический маятник колеблется так же, как математический с приведённой длиной.

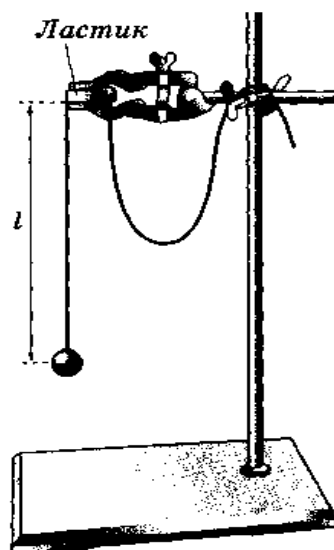
Интересные факты:

Несмотря на свою простоту, математический маятник связан с рядом интересных явлений.

- Если амплитуда колебания маятника близка к  $\pi$ , то под действием малой периодической вынуждающей силы система демонстрирует хаотическое поведение. Это одна из простейших механических систем, в которой хаос возникает под действием периодического возмущения.
- Если точка подвеса не неподвижна, а совершает колебания, то у маятника может появиться новое положение равновесия. Если точка подвеса достаточно быстро колеблется вверх-вниз, то маятник приобретает устойчивое положение «вверх тормашками». Такая система называется маятником Капицы.



**Схема установки:**



**Указания к работе:**

1. Перечертите в тетрадь таблицу для записи результатов измерений и вычислений.



2. Укрепите кусочек резины с висющим на нем маятником в лапке штатива, как показано на рисунке. При этом длина маятника должна быть равна 5 см, как указано в таблице для первого опыта. Длину  $l$  маятника измеряйте так, как показано на рисунке, т. е. от точки подвеса до середины шарика.
3. Для проведения первого опыта отклоните шарик от положения равновесия на небольшую амплитуду (1—2 см) и отпустите. Измерьте промежуток времени  $t$ , за который маятник совершит **30** полных колебаний. Результаты измерений запишите в таблицу.
4. Проведите остальные четыре опыта так же, как и первый. При этом длину  $l$  маятника каждый раз устанавливайте в соответствии с ее значением, указанным в таблице для данного опыта.
5. Для каждого из пяти опытов вычислите и запишите в таблицу значения периода  $T$  колебаний маятника.
6. Для каждого из пяти опытов рассчитайте значения частоты  $\nu$  колебаний маятника по формуле:  $\nu = 1/T$  или  $\nu = N/t$ . Полученные результаты внесите в таблицу.
7. Сделайте выводы о том, как зависят период и частота свободных колебаний маятника от его длины. Запишите эти выводы.

**Таблица измерений и вычислений:**

№ опыта	1	2	3	4	5
<b>Физическая величина</b>					
$l$ , см	5	20	45	80	125
$N$	30	30	30	30	30
$t$ , с					
$T$ , с					
$\nu$ , Гц					

**Контрольные вопросы:**

- Увеличили или уменьшили длину маятника, если:
- а) период его колебаний сначала был 0,3 с, а после изменения длины стал 0,1 с;
  - б) частота его колебаний вначале была равна 5 Гц, а потом уменьшилась до 3 Гц?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

### Тема: Определение показателя преломления стекла

**Цель:** Пользуясь необходимыми приборами, опытным путем определить величину показателя преломления для стекла и выяснить физический его смысл.

**Оборудование:** стеклянная пластинка с параллельными гранями, булавка (4 шт.), линейка, транспортир.

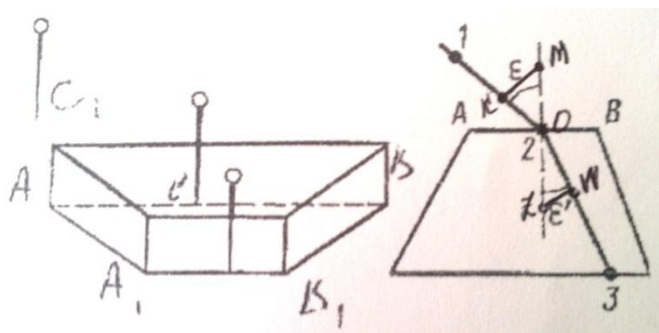
### Теория:

Изменение скорости и направления распространения света на границе раздела двух прозрачных сред различной оптической плотности называют преломлением света. При этом свет меняет свое направление. Преломление света подчиняется следующим законам. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  есть величина постоянная для двух данных сред и называется относительным показателем преломления второй среды относительно первой:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

Луч падающий и луч преломленный, а также перпендикуляр, проведенный через точку падения луча к границе двух сред, лежат в одной плоскости.

### Схема установки:



### Порядок выполнения работы:

1. Положить лист с отчетом (где будет чертеж) на книгу и на него стеклянную пластину так, чтобы можно было выполнить чертеж.
2. Карандашом отметить на бумаге границы параллельных плоскостей AB и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.
3. Воткнуть две булавки вертикально: одну вплотную к грани AB в точке C, а другую вплотную к грани A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> в точке, так чтобы они не были на одном перпендикуляре к плоскостям AB и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.
4. Смотри сквозь стекло. По обе стороны от пластины поставьте еще по одной булавке в точках C<sub>1</sub> и D<sub>1</sub> по возможности дальше от пластинки, так чтобы все булавки закрывали друг друга и были бы на одной прямой.
5. Снять стекло и булавки. Провести прямые через точки, помеченные булавками. Восстановить перпендикуляр к плоскостям AB и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.
6. Отложить на перпендикуляре OM = OZ (произвольно).
7. Из точек M и Z опустить перпендикуляры на лучи: падающий и преломленный (МК и ZN).
8. Измерить отрезки МК и ZN вычислить показатель преломления стекла:  $n = \frac{MK}{ZN}$ .
9. Вычислить относительную погрешность в процентах:  
$$\delta n = \frac{n_T - n}{n_T} \cdot 100\%$$
10. Сделать вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Как повлияет изменение величины угла падения луча на результат работы.
2. Изменится ли результат работы, если сплошную стеклянную пластину заменить стопкой тонких пластинок?
3. От каких величин зависит величина смещения угла?

4. Чем объяснить отклонение луча в стекле?
5. Каково физическое значение абсолютного коэффициента преломления стекла?
6. Какое вещество обладает наибольшим коэффициентом преломления?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

### Тема: Определение главного фокусного расстояния собирающей линзы

**Цель:** Опытным путем определить главное фокусное расстояние и оптическую силу линзы

**Оборудование:** Собирающая линза на подставке (4), электрическая лампочка с колпачком или свеча (1,2), источник электрической энергии, соединительные провода, экран (3), линейка метровая.

### Теория:

Линза— деталь из оптически (и не только, линзы также применяются в СВЧ технике, и там обычно состоят из непрозрачных диэлектриков или набора металлических пластин) прозрачного однородного материала, ограниченная двумя полированными преломляющими поверхностями вращения, например, сферическими или плоской и сферической. В настоящее время всё чаще применяются и «асферические линзы», форма поверхности которых отличается от сферы. В качестве материала линз обычно используются оптические материалы, такие как стекло, оптическое стекло, оптически прозрачные пластмассы и другие материалы.

Расстояния от точки предмета до центра линзы и от точки изображения до центра линзы называются сопряжёнными фокусными расстояниями.

Эти величины находятся в зависимости между собой и определяются формулой, называемой формулой тонкой линзы.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

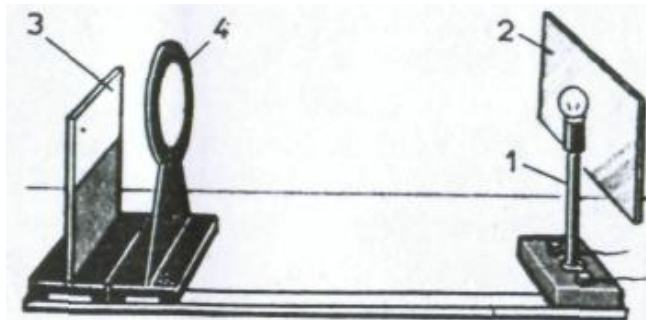
Где  $F$  - главное фокусное расстояние линзы,  $d$  - расстояние от источника света до линзы,  $f$  - расстояние от линзы до изображения (экрана).

Значение фокусного расстояния и оптической силы для линзы может быть рассчитано по следующей формуле:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$R_1, R_2$  – радиусы кривизны поверхностей линзы,  $n$  – показатель преломления стекла,  $D$  – оптическая сила линзы.

### Схема опыта:



### Порядок выполнения работы:

1. Установить источник света, линзу и экран так, как изображено на схеме.
2. Перемещать источник света и линзу вдоль масштабной линейки до тех пор, пока на экране не получится четкое изображение буквы или источника света: увеличенное, уменьшенное и в натуральную величину.
3. Измерить во всех случаях расстояние от источника до линзы  $d$  и от экрана до линзы  $f$  с точностью до 1 мм.
4. Вычислить главное фокусное расстояние линзы  $F$ , пользуясь формулой собирающей линзы.
5. Вычислить среднее значение главного фокусного расстояния.
6. По найденному среднему значению главного фокусного расстояния линзы, выраженному в метрах, определить оптическую силу линзы.
7. Результаты всех измерений и вычислений занести в таблицу.

8. Сделать вывод.

**Таблица измерений и вычислений:**

№	Вид изображения	d, м	f, м	F, м	D, дптр
1	Уменьшенное				-----
2	Равное				-----
3	Увеличенное				-----
Среднее	-----	-----	-----		

**Контрольные вопросы**

1. Подсчитать оптическую силу линзы, если коэффициент преломления стекла равен 1,5, а радиусы обеих кривых поверхностей линзы одинаковы и равны 10 см.
2. Как изменится изображение предмета на экране. Если прикрыть половину линзы куском картона и материи?
3. Где нужно расположить предмет, чтобы собирающая линза рассеивала лучи, падающие от предмета на линзу?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

**Тема: Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.**

**Цель:** Пользуясь необходимыми приборами, опытным путем определить длину световой волны.

**Оборудование:** Прибор для определения длины световой волны, дифракционная решетка, лампа софитная с прямой нитью накала.

**Теория:**

Дифракция - это отклонение световых лучей от прямолинейного распространения при прохождении сквозь узкие щели, малые отверстия или при огибании малых препятствий.

Дифракционная решётка — оптический прибор, действие которого основано на использовании явления дифракции света. Представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность.

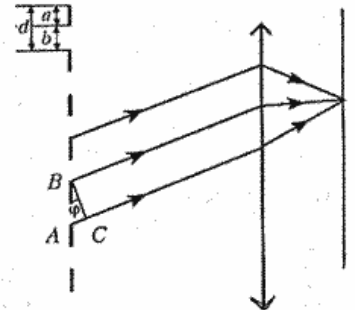
Если на решетку падает монохроматическая волна, то щели (вторичные источники) создают когерентные волны. За решеткой ставится собирающая линза, далее – экран. В результате интерференции света от различных щелей решетки на экране наблюдается система максимумов и минимумов.

Разность хода между волнами от краев соседних щелей равна длине отрезка AC. Если на этом отрезке укладывается целое число длин волн, то волны от всех щелей будут усиливать друг друга. При использовании белого света все максимумы (кроме центрального) имеют радужную окраску.

$d = a + b$  – период решетки,

$AC = AB \sin \varphi = d \sin \varphi$ ,

$d \sin \varphi = AC = k\lambda$  – условие максимума.

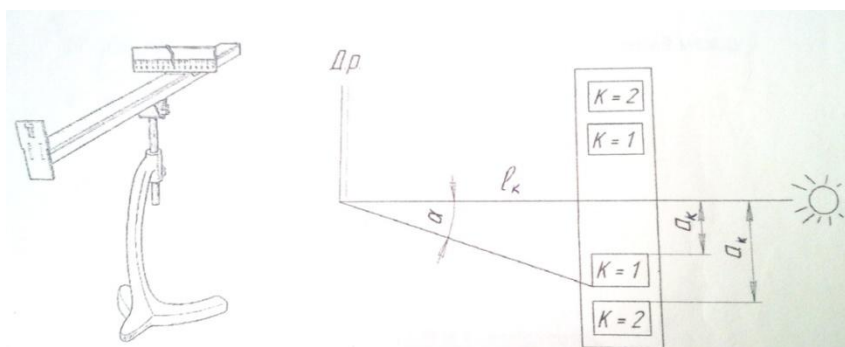


Итак, условие максимума:

$$d \sin \varphi = k\lambda$$

где  $k$  – порядок (или номер) дифракционного спектра. Чем больше штрихов нанесено на решетке, тем дальше друг от друга находятся дифракционные спектры и тем меньше ширина каждой линии на экране, поэтому максимумы видны в виде отдельных линий, т.е. разрешающая сила решетки увеличивается.

**Схема опыта:**



**Порядок выполнения работы:**

1. Вставить дифракционную решетку в рамку на продольной линейке прибора.
2. Экран со шкалой установить на конце продольной линейки.
3. Проверить расположение частей установки.
4. Смотря на лампу через дифракционную решетку, расположить прибор так, чтобы через прорезь экрана была видна нить лампы.
5. Перемещением экрана со шкалой по продольной линейке добиться наиболее четкого изображения на экране спектров первого порядка.

6. Отсчитать на шкале смещение от щели до середины красной части спектра  $a_k$ .
7. Отсчитать на шкале смещение от щели до середины фиолетовой части спектра  $a_\phi$ .
8. Отсчитать по шкале от щели до середины желтой части спектра  $a_ж$ .
9. Получить значения длин волн  $\lambda = d \frac{a}{l}$ .
10. Изменить расстояние  $l$  от решетки до экрана.
11. Повторить наблюдения и измерения для других расстояний между экраном и решеткой.
12. Вычислить среднее значение длины волны.
13. Определить погрешность

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_T - \lambda}{\lambda_T} \cdot 100\%$$

14. Сделать вывод.

**Таблица измерений и вычислений**

№	$l$ , мм	$d$ , мм	К	Красная часть спектра			Желтая часть спектра			Фиолетовая часть спектра		
				$a_k$ , мм	$\lambda$ , мм	$\delta\lambda$ , %	$a_ж$ , мм	$\lambda$ , мм	$\delta\lambda$ , %	$a_\phi$ , мм	$\lambda$ , мм	$\delta\lambda$ , %
1						-			-			-
2						-			-			-
3						-			-			-
Ср	-	-	-	-			-			-		

**Контрольные вопросы:**

1. Почему нулевой максимум дифракционного спектра белого света - белая полоса, а максимумы высших порядков - набор цветных полос?
2. Какова природа световых волн и звуковых волн?
3. Имеем графическое изображение красной, фиолетовой и желтой световой волны. Какой график, какой волне принадлежит?







**Контрольные вопросы:**

1. Можно ли с помощью установки, используемой в настоящей лабораторной работе, определить постоянную Планка?
2. Какими будут результаты измерений, если по схеме установки изменить полярность подключения источника напряжения на противоположную?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

### Тема: Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям

**Цель:** Установить тождество заряженной частицы по результатам сравнения ее трека с треком протона в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле.

**Оборудование:** Рисунок треков, листок прозрачной бумаги, прямоугольный треугольник с миллиметровой шкалой, карандаш.

**Теория:** На фотографии представлены частицы в камере Вильсона, находящиеся в магнитном поле (1 – трек протона). Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости фотографии. Начальные скорости обеих частиц одинаковы и перпендикулярны краю рисунка. Тонкие прямые линии – металлические проволочки, на которые подается напряжение для очистки камеры от ионов перед наблюдением треков. Удельный заряд частицы – это отношение ее заряда к массе  $\frac{q}{m}$ .

### Рабочие формулы:

Сила Лоренца

$$\vec{F} = q\vec{v}B \sin \alpha$$

Центростремительная сила

$$\vec{F} = \frac{mv^2}{R}$$

Тогда

$$q\vec{v}B = \frac{mv^2}{R}$$

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{v}{BR_1} \quad (1) \quad \text{и} \quad \frac{q_2}{m_2} = \frac{v}{BR_2} \quad (2)$$

Поделим второе уравнение на первое:

$$\frac{q_2}{m_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

### Порядок выполнения работы:

1. Наложить на рисунок листок прозрачной бумаги и осторожно перевести на нее трек I и правый рисунок.
2. Определить радиус кривизны трека на участке. Для этого начертить хорду начального трека и восстановить в ее середину перпендикуляр. Найти центр дуги окружности ее радиус.
3. Определить то же для трека II.
4. Пользуясь формулой, сравнить удельные заряды обеих частиц.
5. Выяснить, какой частице может принадлежать этот трек.
6. Сделать вывод.



бумаги и край

начальном участке

и измерить

заряды

этот трек.

индукции.

### Контрольные вопросы:

1. Определить направление вектора магнитной индукции.
2. Объяснить, почему участки траектории частиц представляют собой дуги окружностей.
3. Объяснить, почему на разных участках одной и той же траектории радиусы дуг различны.
4. Объяснить, в чем различия между треками на рисунке. Какова причина этого различия?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

**Тема: Астрономическое наблюдение солнечных пятен**

**Цель:** Пронаблюдать за активностью Солнца в режиме реального времени, а также солнечными пятнами, вычислить их размеры и сравнить с размерами Земли.

**Оборудование:** Телескоп SOHO

**Теория:** Пятна на Солнце впервые наблюдал в телескоп Галилей в 1610 году, хотя ещё в Никоновской летописи в 1365 и 1371 годах говорится "бысть знамение в Солнце, места черны по Солнцу аки гвозди:".

Пятна - более холодные области фотосферы (с температурой 3500<sup>0</sup>К). Образование пятен связано с магнитным полем Солнца. Небольшие пятна имеют в поперечнике несколько тысяч километров. Размеры крупных пятен достигают 100 000 км; такие пятна существуют около месяца. Пятна - места выхода в атмосферу сильных магнитных полей, которые уменьшают поток энергии, исходящей из ядра. Следствием этого и является падение температуры в местах их выхода.

Солнечные пятна часто образуют группы, которые могут занимать значительную площадь на солнечном диске.

Факелы горячее атмосферы примерно на 2000<sup>0</sup>К, имеют ячеистую структуру с величиной ячейки ~30000км. Факелы образуются в результате конвекции из глубоких слоев Солнца и могут существовать недели и месяцы.

Часто образуются целые факельные поля. Внутри факельных полей не обязательно образуются пятна. Сначала внутри факельного поля появляется черная точка, которая быстро растёт и через сутки возникает пятно с резкой границей. Через 3-4 дня вокруг пятна появляется полутень. На 10-ый день размеры пятна максимальны, затем оно уменьшается и исчезает (сначала исчезают самые мелкие пятна).

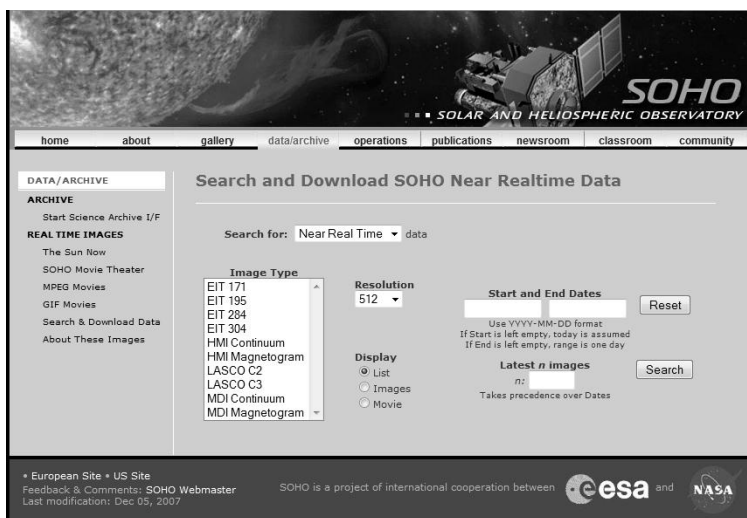
Солнечные вспышки похожи на огромные взрывы, длящиеся всего лишь несколько минут (высвобождается энергия порядка 100 000 миллиардов кВт/час) Столько тепла поступает от Солнца на Землю в год! Причины вспышек пока еще плохо изучены. Многие учёные считают, что они вызываются резким изменением магнитного поля в хромосфере.

Энергия вспышки выделяется в вершине корональной петли, затем распространяется в сторону фотосферы, вызывая нагрев и испарение более холодных слоев. При этом излучение резко возрастает не только в видимой области спектра, но и в ультрафиолете, и в рентгеновской области спектра, увеличивается поток космических лучей. Вспышки вызывают изменения в магнитном поле Земли и могут даже повредить системы электроснабжения.

Другим проявлением солнечной активности является появление плазменных образований в магнитном поле солнечной атмосферы - волокон. Если эти волокна видны на краю Солнца, то они наблюдаются как протуберанцы.

### Порядок выполнения работы:

1. Откройте сайт <http://soho.nascom.nasa.gov> .  
Ознакомьтесь с разделами сайта.
2. Выберите на главной странице раздел date/archive.
3. Откройте в разделе "NEAR REAL TIME IMAGES AND MOVIES" подраздел "Search for SOHO Realtime images".
4. Заполнить "Search for SOHO Realtime images":
  - в "Image Type" выбрать "MDI Continuum";
  - в "Display": "image";
  - проставить даты начала и конца наблюдений или количество последних наблюдений.
5. Наблюдать за изменением положения Солнечных пятен в различные промежутки времени. Выбирать одно фото в день в одно и то же время.
6. Описать результаты проведённых наблюдений под каждым рисунком.
7. Определить размеры наблюдаемого пятна.



8. Определить смещение пятна в течение суток.
9. Сравнить размеры пятен с размером Земли.
10. Сделать вывод. Как бы вы сформулировали результаты наблюдения явления?