

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж

 УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
С.А. Махновский  
22 сентября 2016 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

**по учебной дисциплине**

**ЕН.03 ФИЗИКА**

**для студентов специальности**

**44.02.06 Профессиональное обучение (по отраслям).  
Строительство и эксплуатация зданий и сооружений**

**углубленной подготовки**

Магнитогорск, 2016

## **ОДОБРЕНО:**

Предметной комиссией математических и  
естественнонаучных дисциплин  
Председатель ПК Е.С.Корытникова  
Протокол № 1 от 07.09. 2016 г.

Методической комиссией МпК  
Протокол №1 от 22.09.2016 г.

## **Составители:**

преподаватели ФГБОУ ВО «МГТУ» Многопрофильный колледж  
Маргарита Владимировна Оренбуркина  
Наталья Витальевна Корнеева

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Физика».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению учебной дисциплины программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 44.02.06 Профессиональное обучение (по отраслям). Строительство и эксплуатация зданий и сооружений углубленной подготовки и овладению профессиональными компетенциями.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение.....	4
2 Методические указания.....	6
Практическая работа 1.....	6
Практическая работа 2.....	10
Практическая работа 3.....	15
Практическая работа 4.....	20
Практическая работа 5.....	22
Практическая работа 6.....	26
Практическая работа 7.....	30
Практическая работа 8.....	35
Практическая работа 9.....	38
Практическая работа 10.....	43
Практическая работа 11.....	46
Практическая работа 12.....	50
Практическая работа 13.....	54
Практическая работа 14.....	62
Практическая работа 15.....	70
Практическая работа 16.....	75
Лабораторная работа 1.....	81
Лабораторная работа 2.....	84
Лабораторная работа 3.....	86
Лабораторная работа 4.....	90
Лабораторная работа 5.....	92
Лабораторная работа 6.....	95
Лабораторная работа 7.....	97
Лабораторная работа 8.....	101
Критерии оценки.....	103

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию действующего федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических и лабораторных занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений, умений решать задачи по физике, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным дисциплинам.

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Физика» предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

**уметь:**

- рассчитывать и измерять основные параметры простых электрических и магнитных цепей;
- применять полученные знания по физике для объяснения разнообразных физических явлений и свойств веществ, практического использования физических знаний;
- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач повседневной жизни, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Содержание практических занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 4.2. Участвовать в разработке и внедрении технологических процессов.

А также формированию *общих компетенций:*

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 3. Оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Осуществлять профессиональную деятельность в условиях обновления её целей, содержания, смены технологий.

Выполнение обучающихся практических и лабораторных работ по учебной дисциплине «Физика» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1.1. Законы равновесия тел. Законы движения.

#### Практическая работа № 1

##### Решение задач по теме:

##### «Движение тел под действием нескольких сил».

**Цель работы:** Научиться определять равнодействующую сил действующих на тело, силу натяжения нити между телами, ускорение, скорость.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-решать задачи на законы Ньютона.

**Материальное обеспечение:**

-посадочные места по количеству обучающихся;

- раздаточный материал с заданиями;

- сборники задач

-справочные материалы

**Задание:**

Ответить на вопросы:

1. Что изучает динамика?
2. Определение механической мощности. Формулы мощности.
3. Какие силы называют внутренними? внешними?
4. Что такое абсолютное твердое тело?
5. Что такое линия действия силы?
6. Что такое угловая скорость? В каких единицах она измеряется?

Решить задачи:

1. К центру шара приложена сила  $\vec{F}$ . Куда направлено ускорение шара? В каком направлении движется шар?
2. На полу лифта находится тело массой 50 кг. Лифт поднимается так, что за 3 с его скорость изменяется от 8 до 2 м/с. Определите силу давления тела на пол лифта.
3. Тепловоз на горизонтальном участке пути длиной 600 м развивает постоянную силу тяги 147 кН. Скорость поезда возрастает при этом от 36 до 54 км/ч. Определите силу сопротивления движению, считая её постоянной. Масса поезда 1000 т.
4. Жёсткий стержень длиной 1 м с прикрепленным к нему шариком массой 100 г вращается равномерно в вертикальной плоскости. Определите модуль и направление силы, с которой стержень действует на шарик в верхней точке, при скоростях шарика 2 м/с и 4 м/с.
5. Два груза массами 2 кг и 4 кг, связанные нерастяжимой нитью, поднимают вертикально силой 84 Н, приложенной к первому грузу. Определите ускорение, с которым движутся грузы, и силу натяжения нити.

6. Электросварщик уронил огарок электрода. В момент удара о землю огарок имел скорость 28 м/с. На какой высоте работает электросварщик?
7. Какую силу тяги должен развивать двигатель, чтобы автомобиль массой 1000 кг двигался: а) равномерно; б) с ускорением 0,2 м/с<sup>2</sup>.

### Краткие теоретические сведения:

Основная задача динамики — определение положения тела в пространстве в любой момент времени, когда известны действующие на тело силы и заданы начальные координаты и скорость тела.

Сила — векторная физическая величина, являющаяся мерой взаимодействия тел. Сила характеризуется числовым значением (модулем), направлением действия и точкой приложения к телу.

При действии на тело нескольких сил их можно заменить равнодействующей силой  $F_p \rightarrow$ , представляющей собой векторную сумму этих сил:

Масса (инертная) — скалярная физическая величина, характеризующая способность тела сохранять постоянную скорость, если тело не взаимодействует с другими телами или действие других тел скомпенсировано.

Масса обладает следующими свойствами: 1) Масса тела равна сумме масс всех частиц, из которых оно состоит. При соединении двух тел в одно массы этих тел складываются (свойство аддитивности); 2) Для данной системы тел справедлив закон сохранения массы: при любых процессах, происходящих в системе тел, ее масса остается неизменной (при  $v \ll c$ ).

Масса (гравитационная) — скалярная физическая величина, определяющая силу взаимного притяжения тел и обладающая теми же свойствами, что и инертная масса. Инертная и гравитационная массы характеризуют различные свойства тел, но, как показывает опыт, они всегда эквивалентны (инертная и гравитационная массы одного и того же тела равны).

Основными законами классической динамики являются законы Ньютона. Законы Ньютона следуют из опыта, взаимосвязаны друг с другом, не подчинены друг другу и справедливы только в инерциальных системах отсчета.

Инерциальные системы отсчета (ИСО) — это системы, в которых тело (группы тел), не подверженное действию сил (или действия сил скомпенсированы), находится в покое или движется равномерно и прямолинейно. Система отсчета, движущаяся относительно данной ИСО равномерно и прямолинейно, также является инерциальной. Систему отсчета, связанную с Землей, с большой степенью точности можно считать инерциальной.

Первый закон Ньютона: в инерциальных системах отсчета тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела, либо действуют, но это действие скомпенсировано: значит,  $\rightarrow v = \text{const}$ ,  $\rightarrow a = 0$ .

Второй закон Ньютона: ускорение, полученное телом в ИСО, прямо пропорционально равнодействующей приложенных к нему сил, обратно пропорционально массе тела: Если же рассматривать действие каждой силы в

отдельности, имеет место принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции действия). В этом случае результирующее ускорение тела представляет собой векторную сумму ускорений, вызываемых каждой силой в отдельности: В случае равномерного движения по окружности тело имеет центростремительное ускорение, направленное согласно второму закону Ньютона к центру окружности:

Третий закон Ньютона: в ИСО силы взаимодействия между двумя телами имеют одинаковую физическую природу, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны: Эти силы приложены к разным телам и поэтому не уравнивают друг друга. В задачах механики встречаются следующие виды сил: тяготения (гравитационные силы), упругости и сопротивления.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Внимательно прочитать теоретическую часть и план решения задач
2. Рассмотреть примеры решения задач
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Получить и выполнить индивидуальные задания.

#### **Ход работы:**

1. Проанализировать условие задачи, понять физический процесс, рассматриваемый в ней, выяснить, какие силы действуют на интересующие нас тела.

2. Сделать схематический рисунок, изобразив на нем кинематические характеристики движения (ускорения и скорости), нарисовать векторы всех сил, действующих на каждое тело.

3. Для каждого тела в отдельности на основании второго закона Ньютона записать уравнения движения, связывающие проекции сил и ускорений, выбрав предварительно систему отсчета. При движении тела по прямой второй закон Ньютона для тела имеет вид:  $\sum F_{\text{проекции}} = m \cdot a$ , где  $\sum F_{\text{проекции}}$  – сумма проекций всех сил, действующих на тело, на прямую, по которой происходит движение. При этом положительное направление отсчета удобно выбирать совпадающим с направлением ускорения. Если направление составляющей силы совпадает с направлением ускорения, то соответствующая проекция силы берется со знаком плюс, в противном случае – со знаком минус.

4. При решении задач, в которых рассматривается динамика равномерного движения по окружности, также целесообразно положительное направление координатной оси выбирать совпадающим с направлением ускорения, т.е. к центру вращения. Согласно второму закону Ньютона  $\sum F_{\text{проекции}} = m \cdot a$ , где  $\sum F_{\text{проекции}}$  – сумма проекций всех сил, действующих на тело, на радиус вращения. При этом, если проекция силы направлена к центру вращения, ее нужно считать положительной, если от центра – отрицательной.

5. В задачах о движении системы связанных друг с другом тел одних уравнений движения оказывается недостаточно. В этом случае необходимо записать еще кинематические условия, выражающие собой соотношения между ускорениями тел системы, обусловленные связями между ними.



6. Если в задаче требуется найти не только силы и ускорения, но также координаты (или пройденные пути) тел и их скорости, то кроме уравнений движения нужно использовать кинематические уравнения для координат и скоростей.

7. В задачах, где учитывается трение, нужно находить силу нормальной реакции опоры, определяющую силу трения. Для этого составляют уравнение на основании того, что вдоль координатной оси, перпендикулярной к направлению скорости прямолинейно движущегося тела, ускорение отсутствует, и поэтому сумма проекций сил на эту ось равна нулю.

8. Полученные уравнения дополнить, если необходимо, выражениями для конкретных видов сил (сила трения скольжения, сила трения покоя, сила упругости, сила Архимеда) и решить полученную систему уравнений в общем виде, т.е. получить расчетные формулы.

9. Убедиться, получают ли в результате единицы искомых величин. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления.

**Форма представления результата:** выполненная практическая работа.

## Тема 1.1 Законы равновесия тел. Законы движения

### Практическая работа № 2

#### Решение задач по теме: «Законы статики».

##### Цель работы:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Статика».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

###### уметь:

- решать задачи на законы статики и условия равновесия тел

##### Материальное обеспечение:

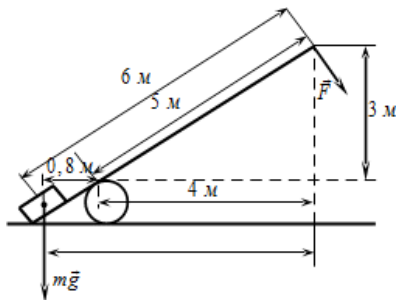
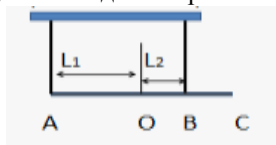
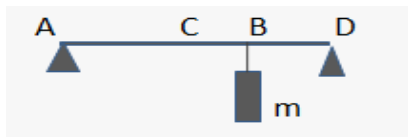
- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

###### Решить задачи:

Внимание! При представлении решения заданий требуется развернутый ответ. В нем обязательно должен быть поясняющий чертеж (рисунок), ссылка на физические законы (правила, постулаты и т.д.), система уравнений, приводящая к правильному алгебраическому ответу, и числовой ответ с указанием единиц.

1. Однородная балка длиной  $6\text{ м}$  своими концами опирается на две опоры. К балке на расстоянии  $2\text{ м}$  от правого конца подвешен груз массой  $m = 750\text{ кг}$ . Масса балки  $120\text{ кг}$ . С какой силой балка с грузом давит на правую опору?
2. На земле лежит балка массой  $90\text{ кг}$ . Какую силу необходимо приложить, чтобы приподнять балку за один из ее концов?
3. Балка массой  $140\text{ кг}$  подвешена на двух канатах. Определите силы натяжения канатов, если  $L_1 = 3\text{ м}$ ,  $L_2 = 1\text{ м}$ .



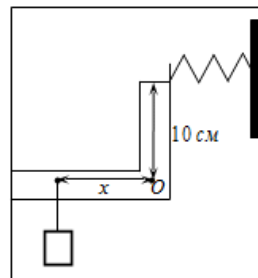
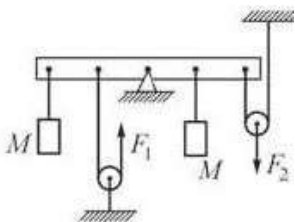
#### 4. Если

закрепить два груза массами  $2m$  и  $m$  на невесомом стержне длиной  $L = 3\text{ м}$ , как показано на рисунке, то, для того чтобы стержень оставался в равновесии, его следует подвесить в точке  $O$ , находящейся на расстоянии  $x$  от груза массой  $2m$ . Найдите расстояние  $x$ .

5. Под действием силы тяжести  $mg$  груза и силы  $F$  рычаг, представленный на рисунке, находится в равновесии. Вектор силы  $F$  перпендикулярен рычагу. Расстояния между точками приложения сил и точкой опоры, а также проекции этих расстояний на вертикальную и горизонтальную оси указаны на рисунке. Найдите модуль силы тяжести, действующей на груз, если модуль силы  $F$  равен  $120\text{ Н}$ .

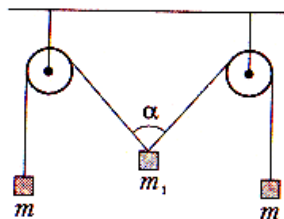
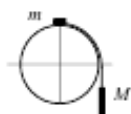
6. К концам рычага приложены направленные вниз силы  $6\text{ Н}$  и  $4\text{ Н}$ . Точка опоры находится на  $5\text{ см}$  ближе к одному концу рычага, чем к другому. Какова длина (см) рычага, если он находится в равновесии?

7. К легкому рычагу сложной формы с точкой вращения в точке  $O$  (см. рисунок) подвешен груз массой  $2\text{ кг}$  и прикреплена пружина, второй конец которой прикреплен к неподвижной стене. Рычаг находится в равновесии, а сила натяжения пружины равна  $15\text{ Н}$ . На каком расстоянии  $x$  от оси вращения подвешен груз, если расстояние от оси до точки крепления пружины равно  $10\text{ см}$ ?



8. Чтобы уравновесить на лёгкой рейке с помощью двух невесомых блоков одинаковые грузы массой  $M$  каждый, к нити, перекинутой через левый блок, и к оси правого блока необходимо приложить вертикальные силы  $F_1$  и  $F_2$  (см. рисунок). Расстояния между чёрными точками на рейке одинаковы, трение отсутствует, нити нерастяжимы. Что можно утверждать про силы  $F_1$  и  $F_2$ ?

9. Система из грузов  $t$  и  $M$  и связывающей их лёгкой нерастяжимой нити в начальный момент покоится в вертикальной плоскости, проходящей через центр закреплённой сферы. Груз  $t$  находится в точке  $A$  на вершине сферы (см. рисунок). В ходе возникшего движения груз  $t$  отрывается от поверхности сферы, пройдя по ней дугу  $30^\circ$ . Найдите массу  $t$ , если  $M=100\text{ г}$ . Размеры груза  $t$  ничтожно малы по сравнению с радиусом сферы. Трением пренебречь.



10. К концам нити, перекинутой через два блока, подвешены два одинаковых груза массами  $5\text{ кг}$  каждый. Какой массой обладает груз  $m_1$ , если при равновесии  $\alpha=120^\circ$ ?

### Краткие теоретические сведения: Статика

**Равновесие** – одно из состояний:

- 1) покой;
- 2) равномерное прямолинейное движение;
- 3) равномерное вращение вокруг неподвижной оси.

## Равновесие невращающихся тел

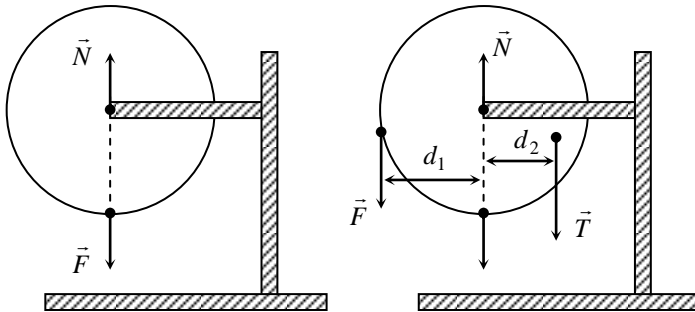
Согласно второму закону Ньютона, для того, чтобы невращающееся тело (см. 1 и 2 п.1.4) находилось в равновесии, необходимо, чтобы равнодействующая всех

приложенных к нему сил равнялась нулю:  $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0}$  – условие равновесия.

## Равновесие тел, имеющих ось вращения

Пусть тело закреплено на неподвижной оси ( п.1.4 ) и к нему приложена сила  $\vec{F}$  одним из двух способов:

- 1) линия действия  $\vec{F}$  проходит через ось вращения.  $\vec{F}$  будет уравновешена реакцией  $\vec{N}$  и тело находится в равновесии;
- 2) линия действия  $\vec{F}$  не проходит через ось вращения, что приводит к вращению тела.



Приложим к телу силу  $\vec{T}$ , вызывающую его вращение в противоположную сторону. При определённых условиях вращение может стать равномерным либо прекратится совсем. Из опытов известно, что это произойдет, если  $|\vec{F}| \cdot d_1 = |\vec{T}| \cdot d_2$ , где  $d_1$  и  $d_2$  – плечи сил  $\vec{F}$  и  $\vec{T}$ .

**Плечо силы ( $d$ ) относительно оси** – кратчайшее расстояние от линии действия силы до этой оси.

**Момент силы ( $M$ )** – произведение модуля силы на её плечо.

$$M = |\vec{F}| \cdot d \quad [M] = 1 \text{ Нм}$$

- В данном параграфе момент рассматривается как скалярная величина, а силы и их плечи лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения.
- Момент силы, вращающий тело по часовой стрелке, считают отрицательным, против – положительным.

Условие равновесия известно как **правило моментов**: тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к нему сил равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0$$

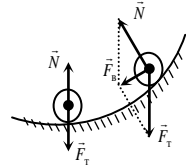
$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0} \\ \sum_{i=1}^n M_i = 0 \end{aligned} \right\}$$

Полное условие равновесия (для любых тел)

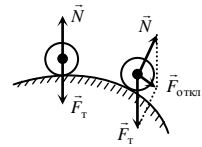
Тело находится в равновесии, если равнодействующая всех приложенных к нему сил равна нулю и сумма моментов этих сил относительно оси вращения также равна нулю.

### Виды равновесия

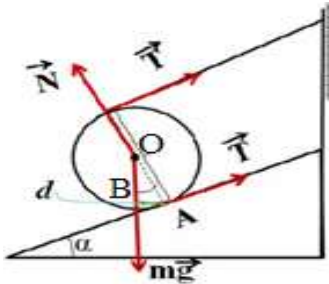
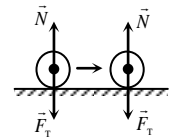
1. **Устойчивое равновесие** – равновесие, при выходе из которого возникает сила  $\vec{F}_B$ , возвращающая тело в исходное положение.



2. **Неустойчивое равновесие** – равновесие, при выходе из которого возникает сила  $\vec{F}_{откл.}$ , ещё больше отклоняющая тело от исходного положения.



3. **Безразличное равновесие** – равновесие, при выходе из которого не возникает ни возвращающая, ни отклоняющая сила.



#### Пример. Цилиндр

массой  $m = 150$  кг удерживается на наклонной плоскости с помощью ленты, с одной стороны закрепленной на наклонной плоскости, а с другой направленной параллельно плоскости. Найти силу натяжения ленты. Угол наклона плоскости  $\alpha = 30^\circ$ .

Решение. Задачу можно решить, применяя либо только первое условие равновесия, либо только второе.

1 способ. Используем первое условие равновесия. Запишем сумму всех действующих сил:  $\sum \vec{F}_i = \vec{0}$ , где  $T$  – сила натяжения ленты,  $N$  – сила реакции опоры,  $mg$  – сила тяжести цилиндра.

Возьмем проекции сил на оси  $OX$  и  $OY$ . Направим ось  $OX$  вдоль силы натяжения ленты, а ось  $OY$  перпендикулярно выбранной оси и по направлению действия силы  $N$ .

На ось  $OX$ :  $2T - mg \sin \alpha = 0$

На ось  $OY$ :  $N - mg \cos \alpha = 0$

Решая полученную систему уравнений относительно  $T$  получим:  $N$ .

#### Порядок выполнения работы:

1. Перед решением задач (№№ 1-10) на доске выписываются формулы по данной теме.
2. Провести анализ величин, входящих в формулы.

3. Решить задачи, соблюдая алгоритм решения, убедиться в правильности полученных величин и их единиц измерения.

#### **Ход работы.**

1. В каждой задаче сделать рисунок, показать все силы, действующие на тело (или тела системы), находящиеся в положении равновесия, выбрать систему координат и определить направление координатных осей.

2. Для тела, не имеющего оси вращения, записать первое условие равновесия в векторной форме, затем записать это условие равновесия в проекциях на оси координат и получить уравнение в скалярной форме.

3. Для тела, с закрепленной осью вращения, следует определить плечи всех сил относительно этой оси и использовать второе условие равновесия (правило моментов).

Если из условия задачи следует, что ось вращения тела не закреплена, то необходимо использовать оба условия равновесия. Для этого выбрать ось, относительно которой целесообразно определять момент сил (при этом положение оси вращения следует выбирать так, чтобы через нее проходило наибольшее число линий действия неизвестных сил), определить плечи сил и написать уравнение, выражающее второе условие равновесия.

4. Решить полученную систему уравнений и определить искомые величины.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.1. Электростатика. Закон Кулона

### Практическая работа № 3

#### Решение задач по теме: «Закон Кулона. Взаимодействие зарядов».

#### Цель работы:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Электрическое поле».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

#### Выполнив работу, Вы будете:

##### уметь:

- решать задачи на закон сохранения электрического заряда на движение и равновесие заряженных частиц в электрическом поле

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

#### Задание:

##### Решить задачи:

1. С какой силой взаимодействуют два заряда по 9нКл каждый, находящиеся на расстоянии 6 см друг от друга?
2. С какой силой взаимодействуют в вакууме два разряда по 0,4мКл каждый на расстоянии 0,5 м друг от друга? ( $\epsilon=1$ )
3. На каком расстоянии друг от друга заряды 10мкКл и 20 нКл взаимодействуют с силой 6мН?
4. Найти величину каждого из двух одинаковых зарядов, если в масле ( $\epsilon=6$ ) на расстоянии 5 см друг от друга они взаимодействуют с силой 0,9мН?
5. Два шарика, расположенные в воде ( $\epsilon=81$ ) на расстоянии 20 см друг от друга, имеет одинаковые отрицательные разряды и взаимодействуют с силой 10мН. Определить заряд каждого шарика.

#### Краткие теоретические сведения: Закон Кулона в вакууме

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Закон Кулона в среде:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

### Электрическая постоянная.

В ряде случаев для упрощения расчётов  $k$  удобно представлять в виде:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}. \text{ Тогда } F_k = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.$$

Электрическая постоянная – коэффициент  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ .

- Сила взаимодействия зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

**Относительная диэлектрическая проницаемость среды** ( $\epsilon$ ) – величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия зарядов в среде ( $F_c$ ) меньше, чем в вакууме ( $F_k$ ).

**Электрическое поле** – особый вид материи, проявляющийся во взаимодействии с электрическими зарядами.

Электрическое поле непрерывно в пространстве, существует вокруг каждого заряда и заряды взаимодействуют друг с другом посредством этого поля.

**Электростатическое поле** – поле, созданное неподвижным зарядом (зарядами).

Оказалось, что:

- 1) больший по величине заряд создаёт более сильное поле;
- 2) более сильное поле оказывает на заряд более сильное действие;
- 3) одно и то же поле на больший по величине заряд, помещённый в ту же точку поля, действует с большей силой.

### Примеры решения задач

1. Во сколько раз изменится сила взаимодействия между двумя точечными заряженными телами, если:

а) расстояние между ними увеличить в 3 раза;

б) заряд одного из них увеличить в 5 раз?

А) Дано:

$$r_1 = r$$

$$r_2 = 3r$$

$$q_1 = q_2 = q$$

$$F_1 / F_2 = ?$$

Решение:

Ответ: сила уменьшится в 9 раз.

Б) Дано:

$$r = r^*$$

$$q_1 = q_2 = q$$

$$q_1^* = q$$

$$q_2^* = 5q$$

$$F^* / F = ?$$

Решение:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_1 = k \frac{qq}{r^2}, \quad F_2 = k \frac{qq}{(3r)^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{k \frac{qq}{r^2}}{k \frac{qq}{(3r)^2}} = \frac{kqq \cdot 9r^2}{r^2 \cdot kqq} = \frac{9r^2}{r^2} = 9$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$F^* = k \frac{q_1^* q_2^*}{r^2} = k \frac{q \cdot 5q}{r^2} = k \frac{5q^2}{r^2}$$

$$\frac{F^*}{F} = \frac{k \frac{5q^2}{r^2}}{k \frac{q^2}{r^2}} = \frac{5kq^2 r^2}{kq^2 r^2} = 5$$



Ответ: сила увеличится в 5 раз.

2. Определите силу взаимодействия 2 одинаковых точечных зарядов по 1 мкКл, находящихся на расстоянии 30 см друг от друга.

Дано:

$$q_1=q_2=1 \text{ мкКл}$$

$$r=30 \text{ см}$$

$$k=9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

F-?

СИ:

$$1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$0,3 \text{ м}$$

Решение:

Ответ: F=0,01 Н

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, q_1 = q_2 \Rightarrow F = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{(1 \cdot 10^{-6})^2}{0,3^2} = 100 \cdot 10^{-4} = 0,01(\text{Н})$$

$$[F] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^2} = \text{Н}$$

3. Сила взаимодействия двух одинаковых точечных зарядов, находящихся на расстоянии 0,5 м, равна 3,6 Н найдите величины этих зарядов.

Дано:

$$r=0,5 \text{ м}$$

$$F=3,6 \text{ Н}$$

$$k=9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$$q_1=q_2=q$$

q - ?

Решение:

Ответ: q=0,1·10<sup>-4</sup> Кл

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, q_1 = q_2 = q \Rightarrow F = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow$$

$$q^2 = \frac{F \cdot r^2}{k}$$

$$q = \sqrt{\frac{F \cdot r^2}{k}} = \sqrt{\frac{3,6 \cdot 0,5^2}{9 \cdot 10^9}} = \sqrt{0,1 \cdot 10^{-9}} = 0,1 \cdot 10^{-4} (\text{Кл})$$

$$q = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2}} = \sqrt{\frac{\text{Н}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} = \sqrt{\text{Кл}^2} = \text{Кл}$$

4. На каком расстоянии нужно расположить два заряда 5·10<sup>-9</sup> Кл и 6·10<sup>-9</sup> Кл, чтобы они отталкивались друг от друга с силой 12·10<sup>-5</sup> Н.?

Дано:

$$F=12 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

$$k=9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

л<sup>2</sup>

$$q_1=5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2=6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

r - ?

Решение:

Ответ: q=0,1·10<sup>-4</sup> Кл

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow r^2 = \frac{k q_1 q_2}{F}$$

$$r = \sqrt{\frac{k q_1 q_2}{F}}$$

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{22,5 \cdot 10^{-5}} = 15 \cdot 10^{-2} = 0,15(\text{м})$$

$$r = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Н}}} = \sqrt{\text{м}^2} = \text{м}$$

5. Определите расстояние между двумя одинаковыми электрическими зарядами, находящимися в керосине, с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , если сила взаимодействия между ними такая же, как в вакууме на расстоянии 30 см.

Дано:

$$\epsilon=2,5$$

$$q_1=q_2=q$$

$$F_1=F_2$$

$$r_2 = 5\text{м}$$

$$r_1 - ?$$

Решение:

$$F_1 = k \frac{q^2}{\epsilon r_1^2}, F_2 = k \frac{q^2}{r_2^2}, F_1 = F_2 \Rightarrow$$

$$\frac{kq^2}{\epsilon r_1^2} = \frac{kq^2}{r_2^2} \Rightarrow \epsilon r_1^2 = \frac{kq^2}{\frac{kq^2}{r_2^2}} = r_2^2 \Rightarrow r_1^2 = \frac{r_2^2}{\epsilon} = \frac{5^2}{0,25} = 100(\text{м}^2)$$

Ответ:  $r_1=10\text{м}$

$$r_1 = \sqrt{100} = 10(\text{м})$$

### Порядок выполнения работы:

1. Перед решением задач на доске выписываются формулы по данной теме.
  2. Провести анализ величин, входящих в формулы.
  3. Решить задачи самостоятельно.
1. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами, чтобы при погружении их в керосин сила взаимодействия между ними была такая же, как в воздухе? (Отв.: в 4,5 раза).
  2. С какой силой взаимодействуют в вакууме 2 разряда по 0,2мКл каждый на расстоянии 0,2 м друг от друга? (Отв.: 90мН)
  3. Два равных положительных заряда отталкиваются в воде с силой 1,6мкН на расстоянии 3 см друг от друга. Определить величину каждого заряда, если  $\epsilon = 81$ .
  4. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеет одинаковые отрицательные разряды и взаимодействуют с силой 0,23мН. Найти число «избыточных» электронов на каждом шарике. (Отв.:  $10^{11}$ ).
  5. Имеются 2 одноименно заряженных шарика, массы которых равны соответственно 10 и 1 грамм. Заряд второго шарика  $3 \cdot 10^{-14} \text{ Кл}$ . Каков должен быть заряд первого шарика, чтобы сила тяготения между ними уравновешивалась электрической силой? (Отв.: 25нКл).
  6. Во сколько раз сила электрического отталкивания между двумя электронами больше силы их гравитационного притяжения друг к другу? (Отв.: в  $4,2 \cdot 10^{-42}$  раз).

### Ход работы:

1. Расставить силы, действующие на точечный заряд, помещенный в электрическое поле, и записать для него условия равновесия или уравнение динамики материальной точки.
2. Выразить силы электрического взаимодействия через заряды и характеристики поля и подставить в исходное уравнение.

3. Если при взаимодействии происходит перераспределение электрических зарядов, то следует добавить уравнение закона сохранения электрического заряда .
4. Полученную систему уравнений решить относительно неизвестной величины.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.2. Электрическое поле. Его характеристики

### Практическая работа № 4

#### Решение задач по теме: «Силовая характеристика электрического поля. Напряжённость»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Электростатика».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи на напряжённость электрического поля, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

##### Решить задачи:

1. Найти напряженность поля в такой точке, где действует электрическая сила в 10мН на пробный заряд в 5Кл.
2. Какая сила будет действовать на заряд в 15 нКл, если его поместить в такую точку поля, напряженность которой равна 3В/м?
3. Найти напряженность поля, образованного точечным зарядом в 20нКл на расстоянии 5см в воде. ( $\epsilon=81$ )
4. Напряженность поля, образованного точечным зарядом в керосине( $\epsilon=2,5$ ) на расстоянии 2м от заряда, равна 90В/м. Определить величину заряда.
5. На расстоянии 6 см от заряда 8нКл, находящегося в жидком диэлектрике, напряженность поля равна 20 кВ/м. Какова диэлектрическая проницаемость диэлектрика?

##### Краткие теоретические сведения:

**Напряжённость электрического поля ( $\vec{E}$ )** – векторная физическая величина, численно равная силе, с которой поле действует на единичный точечный положительный заряд, помещённый в данную точку поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

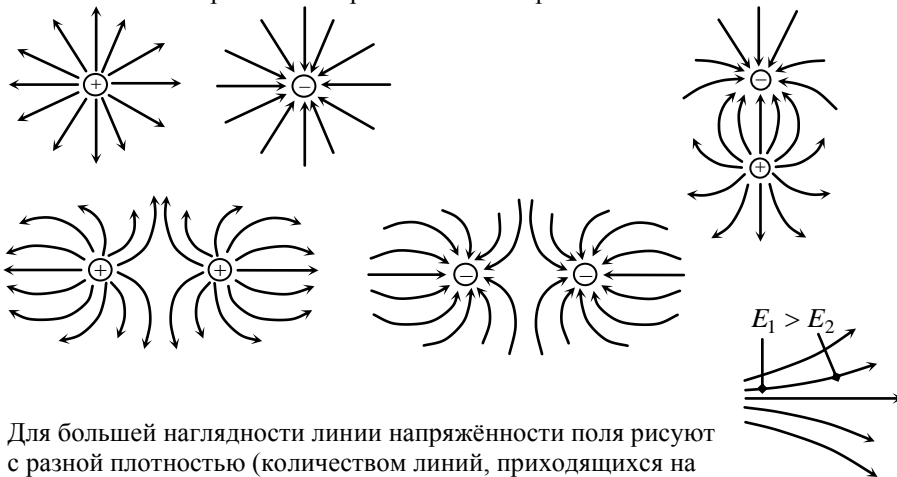
$$[E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$E = k \frac{Q}{\epsilon \cdot r^2}$$

- $\vec{E}$  – силовая характеристика точки электрического поля.

- Напряжённость поля точечного заряда  $Q$  на расстоянии  $r$  от него: .

Картинки электрических полей разных источников:



Для большей наглядности линии напряжённости поля рисуют с разной плотностью (количеством линий, приходящихся на единицу площади перпендикулярно расположенной

поверхности): в областях пространства, где напряжённость  $\vec{E}$  выше, плотность линий больше.

### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Характеристика физических величин и их единиц измерения.
3. Решение задач по вариантам.

### Ход работы:

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить область действия электрического заряда. Выписать числовые значения заданных величин.
2. Сделать схематический чертёж, отображающий электрическое поле вокруг заряда.
3. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искомым величин.
4. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.2. Электрическое поле. Его характеристики

### Практическая работа № 5

#### Решение задач по теме: «Принцип суперпозиций».

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Электростатика».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по принципу суперпозиции полей, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

При решении задач с использованием понятия напряжённости электрического поля нужно прежде всего знать формулы, определяющие силу, действующую на заряд со стороны электрического поля, и напряжённость поля точечного заряда. Если поле создаётся несколькими зарядами, то для расчёта напряжённости в данной точке надо сделать рисунок и затем определить напряжённость как геометрическую сумму напряжённостей полей.

1. Два одинаковых положительных точечных заряда расположены на расстоянии  $r$  друг от друга в вакууме. Определите напряжённость электрического поля в точке, расположенной на одинаковом расстоянии  $r$  от этих зарядов.

2. Проводящая сфера радиусом  $R = 0,2$  м, несущая заряд  $q = 1,8 \cdot 10^{-4}$  Кл,

находится в вакууме. Определите: 1) модуль напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля на её поверхности; 2) модуль напряжённости  $\vec{E}_1$  электрического поля в точке, отстоящей на расстоянии  $r_1 = 10$  м от центра сферы; 3) модуль напряжённости  $\vec{E}_0$  в центре сферы.

3. В однородное электрическое поле напряжённостью  $E_0 = 3$  кН/Кл внесли точечный заряд  $q = 4 \cdot 10^{-10}$  Кл. Определите напряжённость электрического поля в точке А, находящейся на расстоянии  $r = 3$  см от точечного заряда. Отрезок, соединяющий заряд и точку А, перпендикулярен силовым линиям однородного электрического поля.

4. В вершинах равнобедренного треугольника со стороной  $a = 3$  см находятся три точечных заряда  $q_1 = q_2 = 10^{-9}$  Кл,  $q_3 = -2 \cdot 10^{-9}$  Кл. Определите напряжённость электрического поля в центре треугольника в точке О.

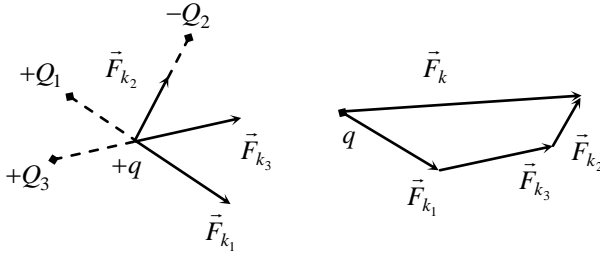
5. Расстояние между двумя неподвижными зарядами  $q_1 = -2 \cdot 10^{-9}$  Кл и  $q_2 = 10^{-9}$  Кл равно 1 м. В какой точке напряжённость электрического поля равна нулю?

### Краткие теоретические сведения:

Принцип суперпозиции полей

Если взять  $n$  точечных электрических зарядов  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , то они создадут общее электрическое поле. Опыты показали: в точке этого поля на пробный заряд  $q$  действует равнодействующая:

$$\vec{F}_K = \vec{F}_{K1} + \vec{F}_{K2} + \dots + \vec{F}_{Kn} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}_K}{q} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$



**Принцип суперпозиции (наложения) полей:** напряжённость  $\vec{E}$  в данной точке электрического поля, созданного системой  $n$  точечных зарядов  $Q_i$ , равна векторной сумме напряжённостей  $\vec{E}_i$ , созданных в этой точке каждым зарядом

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

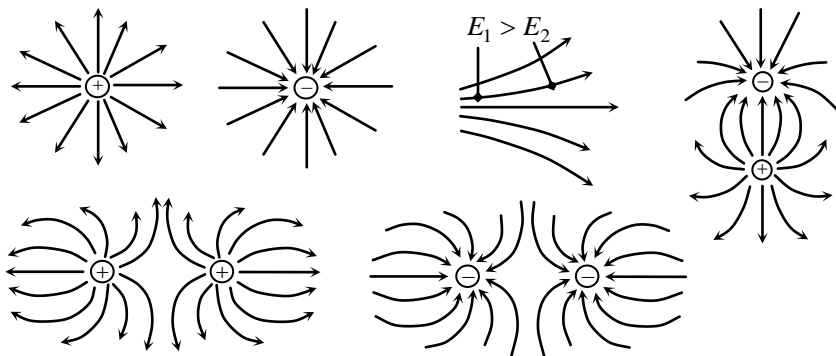
### Графическое изображение электрического поля

Электрическое поле невидимо, его условно изображают в виде *линий напряженности*.

**Линия напряжённости (силовая линия) электрического поля** – линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряжённости  $\vec{E}$  в этой точке.

- Линии напряжённости поля можно построить, внося в него *положительный заряд* (по направлению силы  $\vec{F}_K$  в каждой точке поля).
- Линии напряжённости разомкнуты: они начинаются на положительных зарядах (или в бесконечности) и заканчиваются на отрицательных зарядах (или в бесконечности).
- Линии напряжённости не пересекаются.

Картины электрических полей разных источников:



Для большей наглядности линии напряжённости поля рисуют с разной плотностью (количеством линий, приходящихся на единицу площади перпендикулярно расположенной поверхности): в областях пространства, где напряжённость  $\vec{E}$  выше, плотность линий больше.

### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи самостоятельно:
  1. В направленном вертикально вниз однородном электрическом поле напряжённостью  $1,3 \cdot 10^5$  Н/Кл капля жидкости массой  $2 \cdot 10^{-9}$  г оказалась в равновесии. Определите заряд капли и число избыточных электронов на ней.
  2. Точечный заряд  $q = 10^{-9}$  Кл окружён сферической оболочкой из диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ . Внешний и внутренний радиусы оболочки равны соответственно  $R_1 = 5$  см, а  $R_2 = 6$  см. Определите напряжённость  $E(r)$  электрического поля в зависимости от расстояния от заряда и начертите график этой зависимости.
  3. Три concentric сфeры радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  несут равномерно распределённые по их поверхностям заряды  $q_1 = +2q$ ,  $q_2 = -q$  и  $q_3 = +q$  соответственно. Известно что точечный заряд  $q$  создаёт на расстоянии  $R$  электрическое поле напряжённостью  $E_1 = 63$  Н/Кл. Чему равна напряжённость поля в точке, отстоящей от центра сфер на расстоянии, равном  $2,5R$ ?

### Ход работы:

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выписать числовые значения заданных величин.
2. Сделать схематический чертёж, отображающий описанное в задаче взаимодействие зарядов.



3. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искомых величин.
4. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.2. Электрическое поле. Его характеристики

### Практическая работа № 6

#### Решение задач по теме: «Потенциал. Работа электрического поля».

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Электрическое поле».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по работе электрического поля, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

###### Решить задачи:

1. Какую работу надо совершить, перемещая заряд  $30\text{нКл}$  из точки поля с потенциалом  $50\text{В}$  в точку с потенциалом  $250\text{В}$ ?
2. Определить разность потенциалов между двумя точками поля, если для перемещения заряда  $1,5 \cdot 10^{-7}\text{Кл}$  из одной точки в другую нужно совершить работу  $10^{-4}\text{Дж}$ .
3. При перемещении заряда в электрическом поле совершена работа в  $4\text{Дж}$ . Определить величину заряда, если его перемещение происходило при напряжении  $100\text{В}$ .
4. Напряжение между точками по силовой линии равно  $10\text{кВ}$ , расстояние между ними  $10\text{см}$ . Какова напряженность поля?
5. Определите напряженность между облаком и землей во время грозы, если разность потенциалов равна  $15\text{В}$ , а расстояние между облаком и землей  $200\text{м}$ .

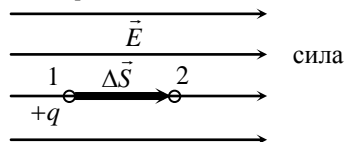
##### Краткие теоретические сведения:

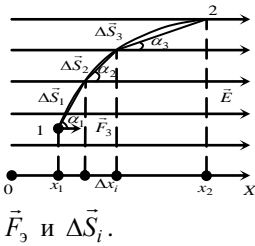
###### **Работа поля по перемещению заряда**

Поместим заряд  $+q$  в однородное поле  $\vec{E}$ . Со стороны поля на заряд действует электрическая

$\vec{F}_э = q \cdot \vec{E}$ , под действием которой он переместился вдоль силовой линии из т.1 в т.2.

Работа поля  $A = \vec{F}_э \cdot \Delta\vec{S} = q \cdot E \cdot \Delta S$ .





Если траектория движения заряда – произвольная кривая, то разделим её на малые участки, считая их прямолинейными. Тогда работа на всём пути

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i, \text{ но } \Delta A_i = \vec{F}_3 \cdot \Delta \vec{S}_i = q \cdot |\vec{E}| \cdot |\Delta \vec{S}_i| \cdot \cos \alpha_i \text{ или}$$

$$\Delta A_i = q \cdot E \cdot \Delta S_i \cdot \cos \alpha_i, \text{ где } \alpha_i - \text{угол между векторами}$$

$\vec{F}_3$  и  $\Delta \vec{S}_i$ .

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A = q \cdot E \cdot \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot \cos \alpha_i = qE \sum_{i=1}^n \Delta x_i = qE \Delta x \text{ или } \boxed{A = q \cdot E \cdot \Delta x},$$

где  $\Delta x$  – разность координат конечного и начального положений заряда.

Таким образом, *работа поля по перемещению заряда не зависит от траектории, а зависит только от начального и конечного положений заряда.*

Работа поля по перемещению заряда

из т.1 в т.2:  $A_{12} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = q \cdot E \cdot \Delta x$  ;

из т.2 в т.1:  $A_{21} = q \cdot E \cdot (x_1 - x_2) = q \cdot E \cdot (-\Delta x) = -A_{12}$  ;

по замкнутому контуру:  $A = A_{12} + A_{21} = 0$ .

**Потенциальное поле** – поле, работа которого зависит от начального и конечного положений тела и не зависит от его траектории.

- Работа потенциального поля на замкнутом контуре равна нулю.
- Электрическое поле – потенциальное поле.

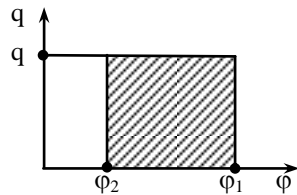
### Разность потенциалов

Известно (п.5.1.1.10), что

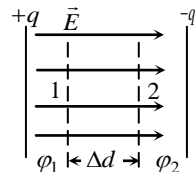
$$A = -\Delta E_n = E_{n1} - E_{n2} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \text{ или}$$

$$\boxed{A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}, \text{ где } \varphi_1 - \varphi_2 - \text{разность потенциалов.}$$

- Разность потенциалов измеряют электрометром или **вольтметром**.
- Работа поля положительна (её совершает поле), когда положительный заряд движется из т.1 в т.2 поля, причем  $\varphi_1 > \varphi_2$ . В случае движения этого заряда против линий поля ( $\varphi_1 < \varphi_2$ ), работа поля будет отрицательна (совершается внешней силой против поля). Графически работа – площадь прямоугольника со сторонами  $q$  и  $(\varphi_1 - \varphi_2)$ ;
- В случае отрицательного заряда ( $-q$ ) работа будет положительной, если заряд движется против линий поля.
- Для любых двух точек эквипотенциальной поверхности  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$  и работа  $A=0$ .



### Связь напряженности и разности потенциалов



Из  $A = F \cdot \Delta d$  и  $A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \Rightarrow F \cdot \Delta d = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)$  или  $qE \cdot \Delta d = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \Rightarrow$

$$E = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{\Delta d} \quad [E] = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}}, \text{ т. е. напряжённость однородного электрического поля}$$

численно равна разности потенциалов на единице длины силовой линии.

### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить самостоятельно задачи.
  - 1) Пылинка массой  $10^{-8}$  г висит между пластинами плоского воздушного конденсатора, к которому приложено напряжение 5кВ. Расстояние между пластинами 5см. Каков заряд пылинки? (Отв.:  $9,8 \cdot 10^{-16}$  Кл).
  - 2) В опыте Милликена в однородном электрическом поле между параллельными одноименно заряженными пластинами находилась пылинка массой  $10^{-8}$ г. Разность потенциалов между пластинами конденсатора -500В, а расстояние 10см. Определите заряд пылинки  $q$ , если она находится в равновесии в электрическом поле.
  - 3) Между двумя одноименно заряженными пластинами конденсатора находится капелька масла массой  $10^{-8}$ кг, заряд которой  $10^{-14}$  Кл. Разность потенциалов между пластинами 240В, а расстояние между ними 2,5см. Найти время, в течение которого капелька достигнет пластины, если в начале она находилась на равном расстоянии между ними. (Отв.: 0,5с).
  - 4) Электрон влетает в электрическое поле в направлении, противоположном направлению линий напряженности, имея скорость 2000км/с. Какой будет скорость электрона в конце участка пути, разность потенциалов на котором составляет 15В?  
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг,  $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. (Отв.:  $3 \cdot 10^6$  м/с).
  - 5) Определить заряд пылинки массой  $2 \cdot 10^{-6}$  г, если она уравнивается в поле конденсатора, разность потенциалов которого на пластинах составляет 600В, а расстояние между пластинами 2см. (Отв.:  $6,5 \cdot 10^{-13}$  Кл).

### Ход работы:

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить характер движения заряда (по или против силовых линий поля). Выписать числовые значения заданных величин.
2. Сделать схематический чертеж, отображающий описанное в задаче движение заряда в электрическом поле. Изобразить на нем траекторию движения, перемещения.
3. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искомых величин.

4. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.3. Законы постоянного тока

### Практическая работа № 7

#### Решение задач по теме: «Законы постоянного тока»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Параметры электрического тока».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по законам тока, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;

- раздаточный материал с заданиями;

- сборники задач

- справочные материалы

##### Задание:

##### Решить задачи

1. Конденсатор ёмкостью 100 мкФ заряжается до напряжения 500 Вольт за 0,5с. Каково среднее значение зарядного тока?
2. Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводника за 1нс при силе тока 32мкА? (Отв.:  $2 \cdot 10^5$ ).
3. Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводе сечения  $5\text{мм}^2$  при силе тока 10А, если концентрация электронов проводимости  $5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ ? (Отв.:  $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ).
4. Найти скорость упорядоченного движения электронов в медном проводе сечением  $25 \text{ мм}^2$  при силе тока 50А, считая, что на каждый атом приходится один электрон проводимости.
5. Один полюс источника тока присоединили к электрической лампе медным проводом, а другой полюс - алюминиевым проводом того же диаметра. Сравнить скорость упорядоченного движения электронов в подводящих проводах, считая, что на каждый атом приходится один электрон проводимости
6. Во сколько раз изменится сопротивление проводника, если его свернуть пополам?
7. Медный и алюминиевый проводники имеют одинаковые массы и сопротивления. Какой проводник длиннее и во сколько раз?
8. Можно ли включить в сеть с напряжением 220Вольт реостат, на котором написано: а) 300м, 5А; б) 2000 Ом, 0,2 А.
9. Найти силу тока в стальном проводнике длиной 10 метров и сечением  $2 \text{ мм}^2$ , на который подано напряжение 12мВ.

10. Какова напряжённость поля в алюминиевом проводнике сечением  $1,4 \text{ мм}^2$  при силе тока 1 Ампер?

**Краткие теоретические сведения:**  
**Электрический ток. Напряжение.**

Подключим проводник АВ к аккумуляторной батарее.  
 В проводнике возникает электрическое поле

$$E = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{|AB|}, \text{ которое движет электроны } e \text{ от полюса}$$

А к полюсу В.

**Электрический ток** – направленное движение заряженных частиц под действием электрического поля.

Условия возникновения электрического тока:

- 1) наличие свободных носителей заряда;
  - 2) наличие электрического поля.
- Электрический ток могут создавать как носители одного знака (“+” или “-“), так и носители обоих знаков.
  - За направление электрического тока принято направление движения *положительно* заряженных частиц.

**Электрическое напряжение между двумя точками электрической цепи** (напряжение) ( $U$ ) – работа по перемещению единичного положительного заряда из одной данной точки в другую.

$$U = \frac{A}{q} \quad (*) \quad [U] = 1\text{В}$$

**Сила тока. Плотность тока**

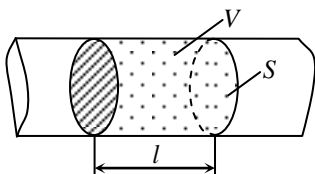
**Сила тока** ( $I$ ) – скорость прохождения заряда  $Q$  через поперечное сечение проводника.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad [I] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = 1 \text{ А} - \text{ампер}$$

- Силу тока измеряют амперметром.

**Плотность тока** ( $j$ ) – отношение силы тока  $I$  к площади поперечного сечения  $S$  проводника (площадь сечения перпендикулярна к направлению тока).

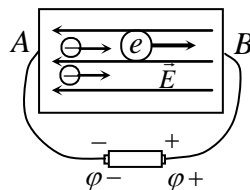
$$j = \frac{I}{S} \quad [j] = 1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$



Заряд  $\Delta Q$ , проходящий через поперечное сечение проводника  $S$  за время  $\Delta t$ , состоит из элементарных зарядов  $q$ , расположенных равномерно по всему объёму проводника  $V$ .

Тогда  $\Delta Q = q \cdot N = q \cdot n \cdot V = q \cdot n \cdot S \cdot l$ ,

где  $N$  – количество зарядов  $q$  в заряде  $\Delta Q$ ;



$n$  – объёмная концентрация зарядов  $q$  в проводнике;

$\ell$  – длина области  $V$ .

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{q \cdot n \cdot S \cdot \ell}{\Delta t} = q \cdot n \cdot v \cdot S \quad \boxed{I = q \cdot n \cdot v \cdot S}$$
$$j = \frac{I}{S} = q \cdot n \cdot v \quad \boxed{\vec{j} = q \cdot n \cdot \vec{v}}$$

где  $\vec{v}$  – скорость направленного движения зарядов  $q$  в проводнике;

$\vec{j}$  – вектор, сонаправленный с  $\vec{v}$ .

**Источник электрической энергии** – участок цепи, на котором заряды движутся под действием сторонних сил.

**Потребитель электрической энергии** – участок цепи, на котором заряды движутся под действием сил электрического поля.

**Электродвижущая сила (ЭДС) источника ( $\varepsilon$ )** – отношение работы сторонних сил  $A_{ст}$  по перемещению положительного заряда  $q$  по замкнутой цепи к величине этого заряда.

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} \quad [\varepsilon] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В} - \text{вольт}$$

ЭДС источника надо измерять при разомкнутой цепи нагрузки.

### Закон Ома для участка цепи

**Электрическое сопротивление проводника ( $R$ )** – величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению по нему электрического тока.

$$\frac{U}{I} = R \quad [R] = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}} = 1 \text{ Ом} - \text{ом.}$$

- 1 Ом – сопротивление проводника, по которому при напряжении 1 В течёт ток в 1 А.
- Сопротивление проводника измеряют омметром.

**Закон Ома для участка цепи:** сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.

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

**Электрическая проводимость проводника ( $g$ )** – величина, характеризующая способность проводника пропускать электрический ток.

$$\boxed{g = \frac{1}{R}} \quad [g] = 1 \frac{1}{\text{Ом}} = 1 \text{ Ом}^{-1} = \text{См} - \text{сименс.}$$

**Падение напряжения на участке цепи** – произведение  $I \cdot R$ .

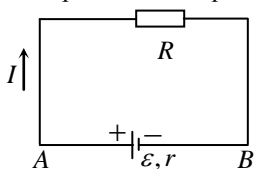
- Напряжение  $U$  на концах участка цепи равно падению напряжения  $I \cdot R$  на нём, если:

- 1) на участке цепи нет источников ЭДС;
- 2) единственный результат прохождения тока – нагревание участка цепи.



## Закон Ома для всей цепи

Соберём цепь из источника  $\varepsilon$  с внутренним сопротивлением  $r$  и потребителя  $R$  электрической энергии.



**Закон Ома для всей цепи:** сила электрической цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна сумме сопротивлений источника и потребителя.

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

тока в  
и

**Резистор** – проводник, предназначенный для преобразования электрической энергии во внутреннюю.

Из опытов известна зависимость сопротивления  $R$

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

проводника постоянного сечения от материала, длины  $\ell$  и площади поперечного сечения  $S$ :

где  $\rho$  – коэффициент, зависящий от материала проводника.

**Удельное сопротивление проводника ( $\rho$ )** – сопротивление проводника длиной 1 м при поперечном сечении 1 м<sup>2</sup>;  $[\rho] = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

- $R$  проводника зависит от его геометрии ( $\ell$ ,  $S$ ) и вещества ( $\rho$ ).

### Зависимость сопротивления резистора от температуры

**Температурный коэффициент сопротивления ( $\alpha$ )** – отношение

относительного изменения удельного сопротивления

$$\alpha = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \text{ к}$$

вызвавшему его изменению температуры  $\Delta t$ .

$$[\alpha] = 1 \text{ град}^{-1} \quad \text{или} \quad \boxed{\rho(t) = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)}$$

где  $\rho(t)$  – удельное сопротивление вещества при  $t^{\circ}\text{C}$ .

Увеличение удельного сопротивления металлического проводника с ростом температуры объясняют возрастанием хаотического движения молекул (атомов) вещества, что увеличивает препятствие прохождению электрического тока.

Сопротивление проводника  $R = \rho \frac{\ell}{S} = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \frac{\ell}{S} = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$

$$\boxed{R(t) = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)}$$

где  $R(t)$  – сопротивление проводника при температуре  $t^{\circ}\text{C}$ ;

$R_0$  – сопротивление проводника при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ .

- Для чистых металлов  $\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить самостоятельно задачи:

- 1) Кабель состоит из двух стальных жил сечением  $0,6 \text{ мм}^2$  каждая, из четырех медных жил сечением  $0,85 \text{ мм}^2$  каждая. Каково падение напряжения на каждом километре кабеля при силе тока 1 Ампер? (Отв.: 133кВ).
- 2) Электрическую лампу сопротивлением 240 Ом, рассчитанную на напряжение 120В, надо питать от сети с напряжением 220В, Какой длины нихромовый проводник сечением  $0,55 \text{ мм}^2$  надо включить последовательно с лампочкой? (Отв.: 85 метров).
- 3) Сопротивление обмотки электромагнита, выполненное из медной проволоки, при  $20^\circ\text{C}$  было 2 Ома, а после длительной работы стало равно 2,4 Ома. До какой температуры нагрелась обмотка? (Отв.:  $53^\circ\text{C}$ ).
- 4) Сопротивление вольфрамового проводника при  $20^\circ\text{C}$  было равно 8 Ом. Определить его сопротивление при  $-40^\circ\text{C}$ , если  $\alpha=5 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ . (Отв.: 58 Ом).
- 5) Найдите ток короткого замыкания в сети с источником, если ЭДС равна 1,3В, а при включении во внешнюю цепь резистора сопротивление равно 3Ом, сила тока в цепи 0,4А. (Отв.: 5,2А).
- 6) Источником тока в цепи служит батарея с ЭДС 30В. Напряжение на зажимах батареи 18В, а сила тока в цепи 3 Ампера. Определите внешнее и внутреннее сопротивления электрической цепи. (Отв.: 6Ом; 4 Ом).
- 7) Имеются две лампы на напряжение 127В, одна из которых рассчитана на мощность 60 Вт, а другая на 100Вт. Сопротивление какой лампы больше и во сколько раз? (Отв.:  $R_1 > R_2$  в 1,7 раз).

#### **Ход работы:**

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить исследуемые параметры. Выписать числовые значения заданных величин.
2. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искомых величин.
3. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.3 Законы постоянного тока

### Практическая работа № 8

#### Решение задач по теме: «Законы соединения проводников»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Виды соединения проводников».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по кинематике, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание: решить задачи

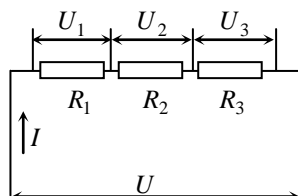
1. Восемь резисторов по два последовательно соединили в 4 параллельные ветви. Сопротивление каждого резистора 4 Ом. Найти общее сопротивление всех резисторов.
2. Восемь резисторов по 4 последовательно соединили в 2 параллельные ветви. Определить общее сопротивление всех резисторов, если сопротивление каждого резистора 20 Ом.
3. Два проводника сопротивлением 2 Ом и 3 Ом соединены последовательно. Сила тока в цепи 1А. Определить сопротивление всей цепи, напряжение на каждом проводнике и полное напряжение всего участка цепи.
4. Цепь состоит из двух последовательно соединённых проводников, сопротивление которых 4 и 6 Ом. Сила тока в цепи 0,2А. Найдите напряжение на каждом из проводников и общее напряжение.
5. Два проводника сопротивлением 10 и 15 Ом соединены параллельно и подключены к напряжению 12В. Определите общую силу тока и силу тока в каждом проводнике.
6. Три потребителя сопротивлением 20,40 и 24 Ом соединены параллельно. Напряжение на концах этого участка цепи 24В. Определите силу тока в каждом потребителе, общую силу тока в цепи и сопротивление всей цепи.

##### Краткие теоретические сведения:

##### Последовательное соединение проводников

**Последовательное соединение проводников** – соединение, при котором проводники образуют единую цепь, размыкание которой в любом месте приводит к прекращению тока во всей цепи.

При последовательном соединении проводников:



$$U = U_1 + \dots + U_n$$

$$I = \text{const}$$

$$R = R_1 + \dots + R_n$$

или

$$U = \sum_{i=1}^n U_i$$

$$I = \text{const}$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

### Параллельное соединение проводников

**Параллельное соединение проводников** – соединение, при котором начала всех проводников собраны в один узел, концы – в другой, и отключение от электрической цепи любого из этих проводников не приводит к отключению остальных.

При параллельном соединении проводников:

$$U = \text{const}$$

$$I = I_1 + \dots + I_n$$

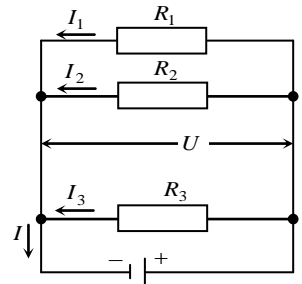
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

или

$$U = \text{const}$$

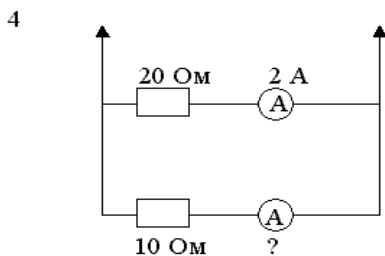
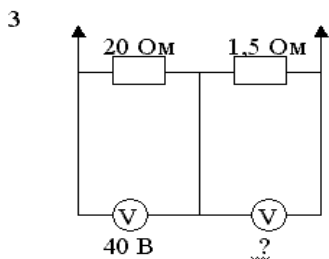
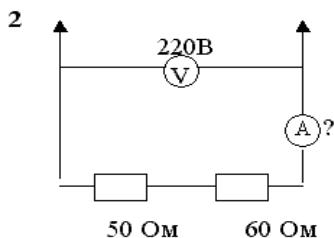
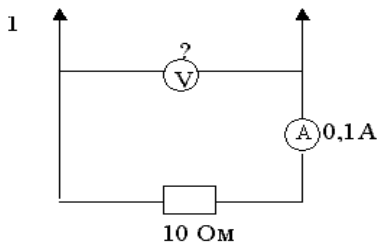
$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$



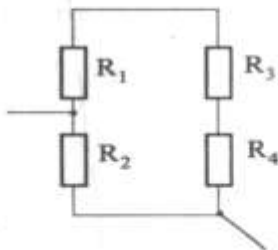
### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристики физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи №№1-5 самостоятельно:



№5

Чему равно общее сопротивление участка, изображенного на рисунке, если  $R_1 = 60 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 3 \text{ Ом}$ ?



### Ход работы:

1. Внимательно прочитайте задачу, проанализируйте условие, выясните вид соединения резисторов, начертите электрическую схему. Выпишите числовые значения заданных величин.
2. Подставьте в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произведите преобразования и убедитесь, получаются ли в результате единицы искомых величин.
3. Подставьте в расчетные формулы числовые значения физических величин и произведите вычисления. Оцените реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.3 Законы постоянного тока

### Практическая работа № 9

#### Решение задач по теме: «Смешанное соединение проводников»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Законы постоянного тока».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи на расчёт электрических цепей

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;

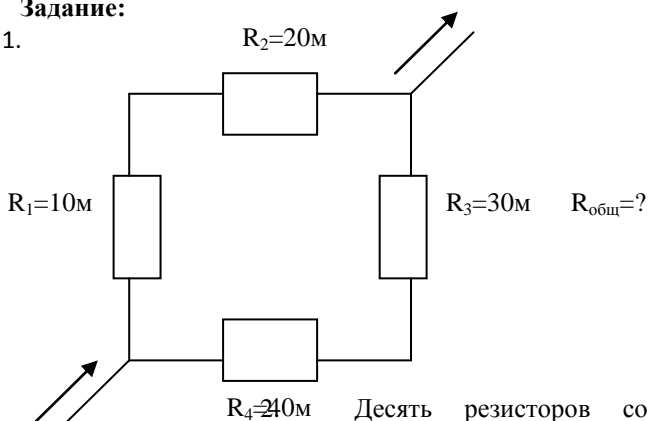
- раздаточный материал с заданиями;

- сборники задач

- справочные материалы

##### Задание:

1.



Десять резисторов соединили по два последовательно в пять параллельных ветвей. Начертить схему соединения. Определить общее сопротивление резисторов, если каждый резистор имеет сопротивление 2 Ом.

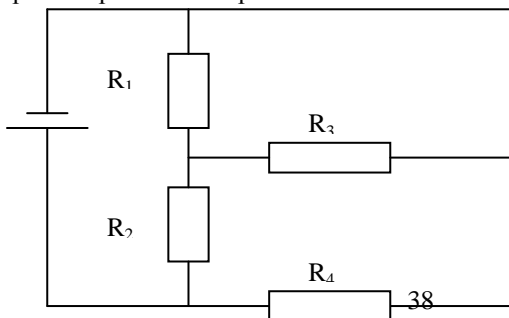


Рис.1

В

3. Найти полное сопротивление электрической цепи (см. рис.1), если внутреннее сопротивление источника тока 1 Ом, а сопротивления

других участков цепи соответственно равны 4,3,12 и 6 Ом.

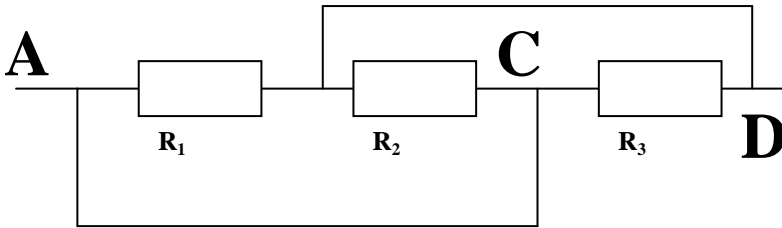
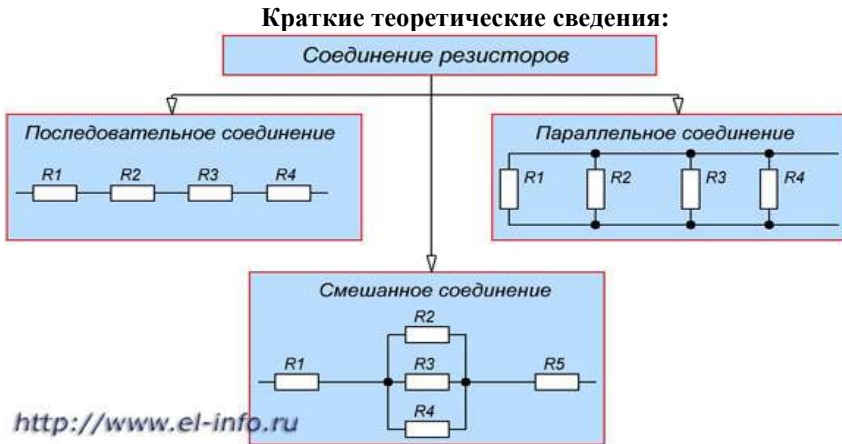


Рис. 2

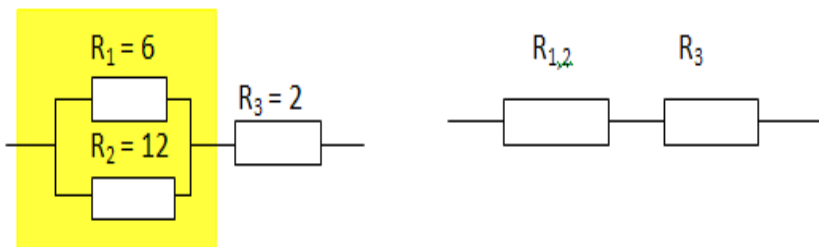
4. Найти сопротивление между т.А и D (см, рис. 2 ), если каждое из трех сопротивлений равно 1 Ом. (Сопротивлением соединительных проводов пренебречь).



При расчётах электрических цепей необходимо знать законы параллельного и последовательного соединения проводников.

При решении задач на смешанное соединение проводников обычно составляют так называемые эквивалентные схемы, выделяя участки с последовательным и параллельным соединением.

Пример 1.



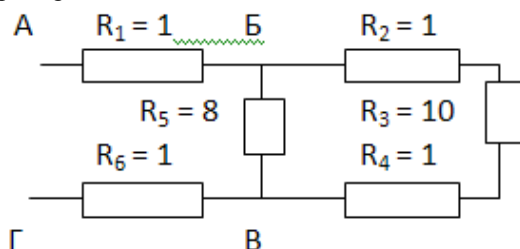
Сопротивление  $R_{1,2}$  заменило выделенный участок цепи, в котором два проводника соединены параллельно.

Тогда мы можем найти сопротивление этого участка с параллельным соединением проводников:

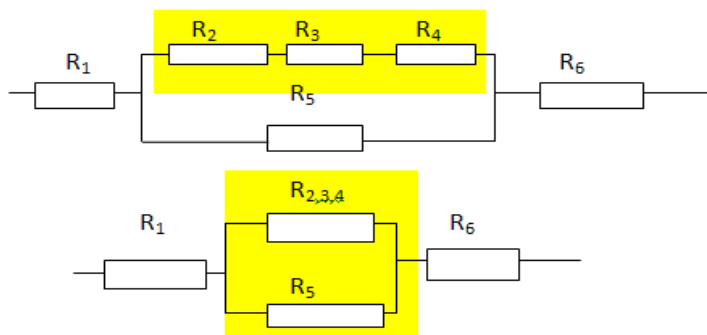
$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 4$$

А теперь видно, что проводники  $R_{1,2}$  и  $R_3$  соединены последовательно. Общее сопротивление равно  $R = R_{1,2} + R_3 = 4 + 2 = 6$ .

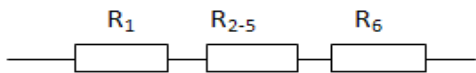
Пример 2.



В данном случае нужно развернуть схему, двигаясь от точки к точке. Видно, что в точке Б схема разветвляется, а в точке В ветви соединяются. Таким образом, эквивалентные схемы будут иметь вид:







$R_2, R_3$  и  $R_4$  соединены последовательно. Поэтому  $R_{2,3,4} = R_2 + R_3 + R_4 = 1 + 10 + 1 = 12$

$R_{2,3,4}$  и  $R_5$  соединены параллельно. Поэтому

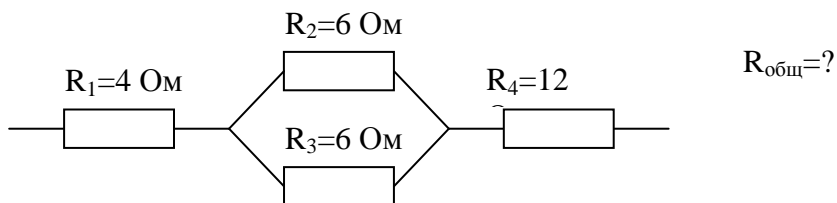
$$R_{2-5} = \frac{R_{2,3,4}R_5}{R_{2,3,4} + R_5} = \frac{12 \cdot 8}{12 + 8} = 4,8$$

И в последней схеме проводники соединены последовательно.  $R = R_{2-5} + R_1 + R_6 = 1 + 4,8 + 1 = 6,8$ .

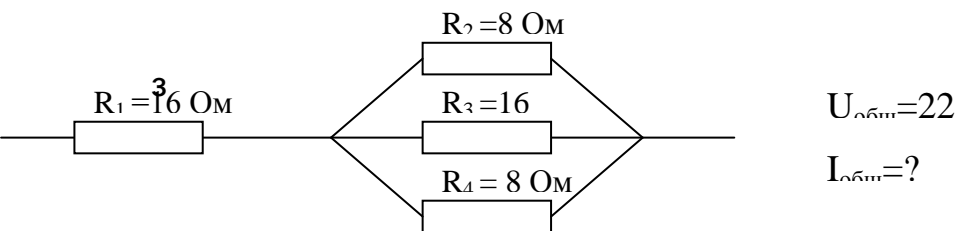
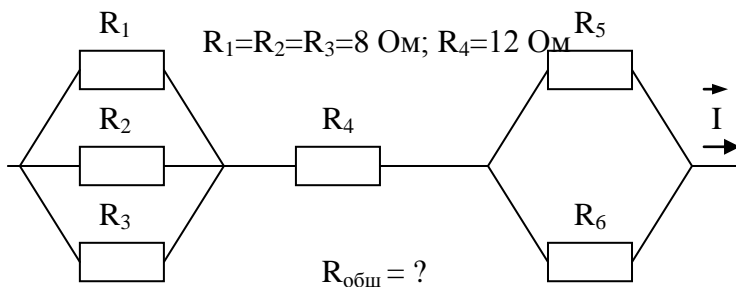
### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристики физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи №№1-4 самостоятельно:

1.



2.



**Ход работы:**

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить вид соединения резисторов, начертить электрическую схему. Выписать числовые значения заданных величин.
2. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искомых величин.
3. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.3 Законы постоянного тока

### Практическая работа № 10

#### Решение задач по теме: «Работа тока. Тепловое действие тока»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Законы постоянного тока».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

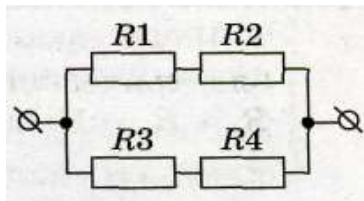
- решать задачи по тепловому действию тока, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

1. Мощность электрического утюга 1 кВт. Каково его сопротивление при включении в сеть с напряжением 220В?
2. Сопротивление резистора 440 Ом, напряжение в цепи равно 220В. Определить мощность тока.
3. По проводнику сопротивлением 200 Ом за 5 минут прошло количество электричества 300 Кл. Вычислить работу тока за это время.
4. В сеть с напряжением 220В включены параллельно одинаковые лампочки с сопротивлением 484 Ом каждая. Сколько лампочек включили в сеть, если они потребляют мощность 800 Вт?
5. Гальванический элемент с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на сопротивление 5 Ом. Какое количество теплоты выделится на проводнике и внутреннем сопротивлении за 10 с?
6. ЭДС источника электрической энергии равна 100 В. При внешнем сопротивлении 49 Ом сила тока в цепи 2 А. Найти падение напряжения внутри источника и его внутреннее сопротивление.
7. Аккумулятор с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0,1 Ом питает внешнюю цепь сопротивлением 12,4 Ом. Какое количество теплоты выделится за время 10 минут во всей цепи?
8. На каком из сопротивлений будет выделяться наибольшее количество теплоты в единицу времени, если  $R_1=4$  Ом ;  $R_2=2$  Ом ;  $R_3=1$  Ом ;  $R_4=2$  Ом?



9. При ремонте электроплитки её спираль укоротили на 0,2 первоначальной длины. Как при этом изменится мощность плитки?

### Краткие теоретические сведения:

#### Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца

Пусть под действием электрического поля заряд  $\Delta q$  за время  $\Delta t$  прошёл через резистор  $R$ . Работа поля  $A = \Delta q \cdot U$  (п.5.1.1.13), где  $U$  – напряжение на резисторе.

Из  $U = I \cdot R$  и  $\Delta q = I \Delta t \Rightarrow A = I^2 \cdot R \cdot \Delta t$ ;  $A = I \cdot U \cdot \Delta t$ ,

$[A] = 1 \text{ Дж}$ .

- Работу поля  $A$  по перемещению заряда принято называть работой тока, а мощность поля  $P$  – мощностью тока.

$$P = \frac{A}{\Delta t} \Rightarrow P = I^2 \cdot R; P = I \cdot U; P = \frac{U^2}{R} \quad [P] = 1 \text{ Вт}.$$

Джоуль и Эмиль Христианович Ленц (1804–1865, Россия) экспериментально установили зависимость, известную как **закон Джоуля–Ленца**: если на участке цепи вся энергия тока переходит во внутреннюю энергию проводника (не совершается механическая работа), то количество теплоты, выделившееся в проводнике:  $Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t$ .

В этом законе количество теплоты равно работе тока, что полностью согласуется с законом сохранения энергии.

#### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать характеристики физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи №№1-5 самостоятельно:
  1. Определить сопротивление электрического паяльника мощностью 300 Вт, включенного в сеть напряжением 220 В.
  2. По проводнику сопротивлением 20 Ом за 5 мин прошло количество электричества 300 Кл. Вычислить работу тока за это время.
  3. Сколько электронов проходит каждую секунду через поперечное сечение вольфрамовой нити лампочки мощностью 70 Вт, включенной в сеть с напряжением 220В?
  4. Определить стоимость электрической энергии, потребляемой лампой мощностью 100 Вт за 200 ч горения ( $k = 0,04 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ ).
  5. Какое сопротивление нужно включить в сеть с напряжением 220 В, чтобы в нем за 10 минут выделилось 66 кДж теплоты?

#### Ход работы:

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить законы электрического тока, которым подчиняется изменение параметров. Выписать числовые значения заданных величин.

2. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получают ли в результате единицы искомых величин.
3. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.5 . Магнитное поле

### Практическая работа № 11

#### Решение задач по теме: «Магнитное поле. Силы, действующие в магнитном поле на проводник и электрический заряд»

##### Цель работы:

1. Расширить знания учащихся о магнитных взаимодействиях, развивать умения обобщать, сравнивать, использовать полученные знания при решении задач.
2. Повторить основные термины и формулы раздела «Электромагнитные явления».
3. Сформировать умение применять формулы при решении задач.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи на формулы напряженности, магнитной индукции, магнитного потока.
- применять правило левой и правой рук для определения сил Ампера и Лоренца.
- решать расчетные задачи на формулу силы Ампера и Лоренца.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

Решить задачи:

1. Прямолинейный проводник длиной 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 4 Тл и расположен под углом  $30^{\circ}$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике 3 А?
2. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U=400\text{В}$ , попал в однородное магнитное поле с индукцией  $B=1,5\text{Тл}$ . Определить: 1) радиус  $R$  кривизны траектории; 2) частоту вращения электрона в магнитном поле. Вектор скорости электрона перпендикулярен линиям индукции.
3. Протон со скоростью  $2 \cdot 10^7\text{ м/с}$  влетает в однородное магнитное поле с индукцией 8 Тл под углом  $45^{\circ}$  к линиям индукции. Найти силу, действующую на протон.
4. Прямолинейный проводник длиной 15 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 4 Тл и расположен под углом  $60^{\circ}$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике 2,5 А?
5. Заряженный шарик массой 0,1 мг и зарядом 0,2 мКл влетает в область однородного магнитного поля индукцией 0,5 Тл, имея импульс  $6 \cdot 10^{-4}\text{ кг}\cdot\text{м/с}$ ,

направленный перпендикулярно линиям магнитной индукции. С какой силой будет действовать магнитное поле на заряженный шарик?

Ответить на вопросы теста:

1. *Источником магнитного поля являются (является)...*

- 1) движущиеся электрические заряды;
- 2) заряженный теннисный шарик;
- 3) полосовой магнит.

2. *Обнаружить магнитное поле можно по...*

- А) по действию на любой проводник;
- Б) действию на проводник, по которому течет электрический ток;
- В) заряженный теннисный шарик, подвешенный на тонкой нерастяжимой нити;
- Г) на движущиеся электрические заряды.

1) А и Б, 2) А и В, 3) Б и В, 4) Б и Г.

3. *Закончить фразу: «Если электрический заряд неподвижен, то вокруг него существует...»*

- 1) магнитное поле,
- 2) электрическое поле,
- 3) электрическое и магнитное поле.

4. *Закончить фразу: «Если электрический заряд движется, то вокруг него существует...»*

- 1) магнитное поле,
- 2) электрическое поле,
- 3) электрическое и магнитное поле.

5. *Закончить фразу: «Вокруг проводника с током существует...»*

- 1) магнитное поле,
- 2) электрическое поле,
- 3) электрическое и магнитное поле.

6. *Какие силы проявляются во взаимодействии двух проводников с током?*

- 1) силы магнитного поля,
- 2) силы электрического поля,
- 3) силы гравитационного поля.

7. *Какие утверждения являются верными?*

- А) В природе существуют электрические заряды.
- Б) В природе существуют магнитные заряды.
- В) В природе не существует электрических зарядов.
- Г) В природе не существует магнитных зарядов.

1) А и Б, 2) А и В, 3) А и Г, 4) Б, В и Г.


### **Краткие теоретические сведения:**

Вектор магнитной индукции:

$$B = \frac{F_A}{Il \sin \alpha}$$

Напряженность магнитного

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}, \quad \vec{B} = \mu\vec{B}_0, \quad \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \quad \text{поля: .}$$

Если  то частица

будет

двигаться по окружности и сила Лоренца будет сообщать ей центростремительное ускорение =>

$$F_L = ma_{\text{ц}} \Rightarrow$$

$$qBv = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \frac{qBR}{m}$$

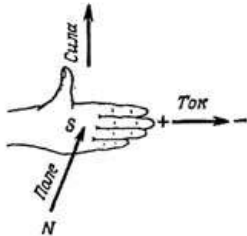
Магнитный поток:  $\Phi = Bs \cos \alpha$  .

Магнитное поле соленоида:

$$B = \mu_0 n I, n = \frac{N}{l}$$

**Закон Ампера:**  $F_A = BIl \sin \alpha$  .

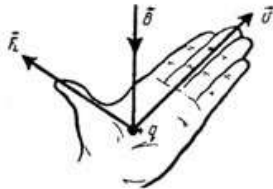
Направление силы Ампера определяется по правилу «левой руки»:



- магнитные силовые линии входят в ладонь;
- 4 пальца указывают направление силы тока в проводнике;
- отогнутый большой палец укажет направление силы Ампера.

Сила Лоренца:  $F_L = qv \sin \alpha$  .

Направление силы Лоренца определяется по правилу «левой руки» для положительных зарядов; для отрицательных зарядов - зеркальное отображение.



Сила Лоренца всегда перпендикулярна плоскости, в которой находятся векторы  $v$  и  $B$  => сила Лоренца работы не совершает, т.е. не может изменить кинетической энергии свободных зарядов.

### Порядок выполнения работы:

1. Перед самостоятельным решением задач на доске выписываются формулы по данной теме.
  2. Провести анализ величин, входящих в формулы.
  3. Решить самостоятельно задачи №№ 1-5:
- 1) Определить силу, с которой однородное магнитное поле действует на проводник длиной 20 см, если сила тока в нем 300 мА, расположенный под углом 45 градусов к вектору магнитной индукции. Магнитная индукция составляет 0,5 Тл.
  - 2) Проводник с током 5 А находится в магнитном поле с индукцией 10 Тл. Определить длину проводника, если магнитное поле действует на него с силой 20Н и перпендикулярно проводнику.
  - 3) Проводник длиной 0,15 м перпендикулярен вектору магнитной индукции однородного магнитного поля, модуль которого  $B=0,4$  Тл. Сила тока в



проводнике 8А. Найдите работу, которая была совершена при перемещении проводника на 0,025 м по направлению действия силы Ампера.

- 4) Определить центростремительную силу, действующую на протон в однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл (вектор магнитной индукции перпендикулярен вектору скорости), если радиус окружности, по которой он движется, равен 5 см.
- 5) С каким ускорением движется электрон в однородном магнитном поле (вектор магнитной индукции перпендикулярен вектору скорости) с индукцией 0,05 Тл, если сила Лоренца, действующая на него, равна  $5 \times 10^{-13}$  Н. (Так как сила Лоренца является одновременно и центростремительной силой, и электрон движется по окружности, в задаче требуется рассчитать центростремительное ускорение, которое приобретает электрон в результате действия центростремительной силы.)

**Ход работы:**

1. Внимательно прочитайте задачу, проанализируйте условие, выясните законы, которым подчиняется изменение параметров. Выпишите числовые значения заданных величин.
2. Подставьте в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произведите преобразования и убедитесь, получаются ли в результате единицы искомым величин.
3. Подставьте в расчетные формулы числовые значения физических величин и произведите вычисления. Оцените реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.5. Магнитное поле

### Практическая работа № 12

#### Решение задач по теме: «ЭДС индукции, самоиндукции»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Электромагнитная индукция».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по электромагнитной индукции, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

1. За 5мс в соленоиде, содержащем 500 витков провода, магнитный поток равномерно убывает с 7 до 3мВб. Найти величину ЭДС индукции в соленоиде.
2. Сколько витков провода должна содержать обмотка, если ЭДС индукции 20В, а магнитный поток убывает на 5мВб за 5 мс?
3. Определить время, за которое в катушке из 50-ти витков с ЭДС 20 Вольт магнитный поток возрастает на 5мВб.
4. Найти величину ЭДС индукции в проводнике с длиной активной части 0,25м, перемещающемся в однородном магнитном поле с индукцией 8мТл со скоростью 5м/с под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. (Отв.:5В).
5. Какова индуктивность соленоида, если при силе тока 5А через него проходит магнитный поток 50мВб? (Отв.: 10мГн).
6. Какой величины ЭДС самоиндукции возбуждается в обмотке электромагнита с индуктивностью 0,4Гн при равномерном изменении силы тока в ней на 5А за 0,02секунд. (Отв.: 100В).
7. В катушке индуктивностью 0,6Гн сила тока равна 20А. Какова энергия магнитного поля катушки? Как изменится энергия поля, если сила тока уменьшится вдвое? (Отв.:120Дж; уменьшится в 4 раза).
8. Через соленоид, индуктивность которого 0,4мГн и площадь поперечного сечения  $10\text{см}^2$ , проходит ток 0,5А. Какова индукция поля внутри соленоида, если он содержит 100 витков? Поле считать однородным. (Отв.:2мТл).
9. Найти энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока 10А возникает магнитный поток 0,5Вб. (Отв.: 2.5Дж).

10. Какой магнитный поток возникает в катушке с индуктивностью 20мГн при силе тока 10А? (Отв.: 0,2 Вб).

### Краткие теоретические сведения:

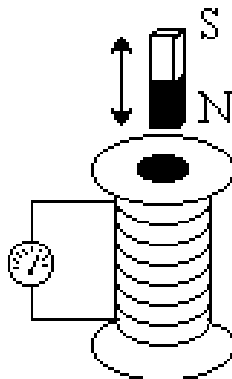
#### Опыт Фарадея. Электромагнитная индукция

В 1831 г. Фарадей проводил опыты с катушками и магнитами. Один из опытов: в цепь из катушки и гальванометра вводят постоянный магнит.

Оказалось, что если магнит:

- 1) неподвижен (независимо от того, введён он в катушку или нет), тока в катушке нет;
- 2) движется (входит в катушку или выходит из неё), то в цепи катушки протекает ток.

**Электромагнитная индукция (ЭМИ)** – явление возникновения в замкнутом контуре электрического тока, обусловленное изменением магнитного потока, пронизывающего данный контур.



- Ток ЭМИ называют **индукционным** (наведённым). Опыты Фарадея показали, что вместо постоянного магнита можно использовать катушку с током, а вместо движения катушек друг относительно друга можно изменять ток в первичной (создающей поле) катушке. При этом её магнитное поле изменяется и во вторичной (контрольной) катушке наводится ток и, следовательно, ЭДС индукции.
- На основе изменения тока в первичной обмотке и наведения его во вторичной построен **трансформатор**.

**Правило Ленца:** индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, имеет такое направление, что создаваемый им магнитный поток сквозь поверхность, охватываемую контуром, стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызывающего данный ток.

**Закон электромагнитной индукции:** ЭДС индукции, возникающая в контуре, равна скорости изменения магнитного потока (через поверхность, ограниченную данным контуром), взятой с обратным знаком.

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- Если катушка содержит  $N$  витков (контуров), то  $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

#### Потокоцепление. Индуктивность

Из  $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  и  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 \Rightarrow \mathcal{E} = - \frac{N \cdot \Phi_2 - N \cdot \Phi_1}{\Delta t}$ . Обозначим общий

магнитный поток, пронизывающий все витки катушки  $N \cdot \Phi = \psi$ ,  $[\psi] = 1 \text{ Вб}$ .

**Потокосцепление** ( $\psi$ ) – величина, характеризующая связь магнитного потока с контуром.

Тогда закон электромагнитной индукции:  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\psi}{\Delta t}$ .

Из опытов известно, что  $\psi$  контура пропорционально току  $I$  в нём:  $\psi = L \cdot I$ .

**Индуктивность** ( $L$ ) – коэффициент пропорциональности между потокосцеплением и током контура.

$$L = \frac{\psi}{I} \quad [L] = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = 1 \text{ Гн} - \text{генри}$$

### Самоиндукция. ЭДС самоиндукции

Магнитный поток, проходящий через контур, может быть создан не только внешним источником (например магнитом), но и током в самом контуре (собственный поток).

При изменении (нарастании или убывании) тока в контуре изменяется собственный магнитный поток и возникает ЭДС.

**Самоиндукция** – явление возникновения ЭДС индукции, вызванное изменением тока в контуре.

**ЭДС самоиндукции** ( $\mathcal{E}_{\text{си}}$ ) – ЭДС, возникающая при самоиндукции:

$$\mathcal{E}_{\text{си}} = -\frac{\Delta\psi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{при } L = \text{const}). \quad \mathcal{E}_{\text{си}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- Самоиндукция в технике позволяет плавно увеличивать ток. При выключении цепи самоиндукция приводит к возникновению искр и электрической дуги, что вредно для контактов выключателя и элементов цепи. В связи с этим применяют искрогасители (масляные и др.).

Магнитное поле обладает энергией.  $W_L = L \frac{I_0^2}{2}$ .

### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
  2. Дать название, характеристику физических величин и их единиц измерения.
  3. Решить задачи самостоятельно.
- 
- 1) За 10мс в соленоиде, содержащем 100 витков провода, магнитный поток равномерно убывает с 5 до 3мВб. Найти величину ЭДС индукции в соленоиде.
  - 2) Сколько витков провода должна содержать обмотка на стальном сердечнике с поперечным сечением  $50 \text{ см}^2$ , чтобы в ней при изменении магнитной индукции от 0,1 до 1,1Тл в течение 5мс возбуждалась ЭДС индукции 100Вольт? (Отв.:100витков).

- 3) С какой скоростью надо перемещать проводник, длина активной части которого 1метр, под углом  $60^0$  к линиям магнитного поля, чтобы в проводнике возбуждалась ЭДС индукции 1Вольт? Индукция магнитного поля 0,2Тл. (Отв.: 5,8мс).
- 4) Найти индуктивность проводника, в котором равномерное изменение силы тока на 2А в течение 0,25 секунд возбуждает ЭДС самоиндукции 20мВ. (Отв.: 2,5мГн).
- 5) Катушка с железным сердечником сечением  $20\text{см}^2$  имеет индуктивность 0,02Гн. Какой должна быть сила тока, чтобы индукция поля в сердечнике была 1мТл, если катушка содержит 1000 витков? (Отв.: 0,1А).
- 6) Какой должна быть сила тока в обмотке дросселя индуктивностью 0,5Гн, чтобы энергия поля оказалась равной 1Дж? (Отв.: 2А).
- 7) Какова индуктивность катушки, если при постепенном изменении в ней силы тока от 5 до 10А за 0,1секунд возникает ЭДС самоиндукции, равная 20 Вольт?

#### **Ход работы:**

1. Внимательно прочитать задачу, проанализировать условие, выяснить законы, которым подчиняется изменение параметров. Выписать числовые значения заданных величин.
2. Подставить в расчетные формулы вместо обозначений физических величин обозначения их единиц в СИ, произвести преобразования и убедиться, получаются ли в результате единицы искоемых величин.
3. Подставить в расчетные формулы числовые значения физических величин и произвести вычисления. Оценить реальность полученного результата.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа.

## Тема 4.6. Переменный ток

### Практическая работа № 13

#### Решение задач по теме: «Характеристики переменного тока»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Переменный ток».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по переменному току, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

##### Качественные задачи

1. Вдоль жесткого провода, по которому пропускается переменный ток от городской сети, расположена мягкая тонкая металлическая нить. В одном случае через нить пропускается также переменный ток от городской сети. В другом случае через нить пропускается постоянный ток. Что будет происходить с нитью в каждом случае?
2. Какую траекторию опишет электрон, пролетая между пластинами плоского конденсатора, к которым подведено: 1) постоянное напряжение; 2) переменное напряжение высокой частоты?
3. Как изменится сопротивление, оказываемое линейным проводником току высокой частоты, если этому проводнику придать форму соленоида?
4. Через какую долю периода после замыкания заряженного конденсатора на катушку индуктивности энергия в контуре распределится между конденсатором и катушкой поровну?
5. В каких элементах закрытого колебательного контура (конденсаторе или катушке) сосредоточена энергия в моменты  $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{T}{8}$  начала разряда конденсатора?

##### Рассмотреть примеры решения расчётных задач

**Задача 1.** Определите сдвиг фаз колебаний напряжения  $U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$  и силы тока  $I = I_0 \sin \omega t$  для электрической цепи, состоящей из последовательно включенных проводников с активным сопротивлением  $R = 1000$  Ом, катушки индуктивностью  $L = 0,5$  Гн и конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ. Определите

мощность, которая выделяется в цепи, если амплитуда напряжения  $U_0 = 100$  В, а частота  $\nu = 50$  Гц.

**Решение:**

Сдвиг фаз между током и напряжением в цепях переменного тока определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \quad (1)$$

здесь  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота. Следовательно,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}}{R}.$$

Мощность, которая выделяется в цепи, определится по формуле

$$P = \frac{I_0 U_0}{2} \cos \varphi.$$

Для цепи переменного тока справедливо соотношение

$$I_0 = \frac{U_0}{Z},$$

где  $Z$  - полное сопротивление (импеданс) цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Следовательно, мощность, которая выделяется в цепи

$$P = \frac{U_0^2 \cos \varphi}{2\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2)$$

Подставив численные значения в (1), получим  $\operatorname{tg} \varphi = -3$ ,  $\varphi \cong -72^\circ$  (минус означает, что напряжение отстает по фазе). Тогда  $\cos \varphi \cong 0,3$ .

Подставив численные значения в (2), получим  $P = 0,5$  Вт.

$$P = \frac{U_0^2 \cos \varphi}{2\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = 0,5 \text{ Вт.}$$

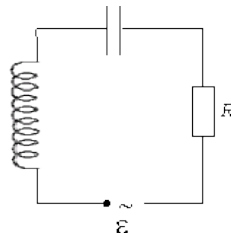
**Ответ:**

**Задача 2.** Конденсатор неизвестной емкости, катушка с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$  подключены к источнику переменного напряжения  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$  (рис. 1).

$$I = \frac{\mathcal{E}_0}{R} \cos \omega t$$

Сила тока в цепи равна  $\frac{\mathcal{E}_0}{R} \cos \omega t$ . Определите амплитуду напряжения между обкладками конденсатора.

**Решение:**



Из условия задачи видно, что сила тока и напряжение в цепи меняются синфазно. Это означает, что совпадают индуктивное и емкостное

сопротивления. 
$$\frac{1}{\omega C} = \omega L. \quad (3)$$

Напряжение на конденсаторе будет равно 
$$U_C = \frac{q}{C}. \quad (4)$$

Поскольку  $I = \frac{dq}{dt}$ , то  $q = \frac{\mathcal{E}_0}{R\omega} \sin \omega t$ . 
$$(5)$$

Подставляя (5) в (4), получим: 
$$U_C = \frac{\mathcal{E}_0}{R\omega C} \sin \omega t. \quad (6)$$

С учетом (3) соотношение (6) примет вид:

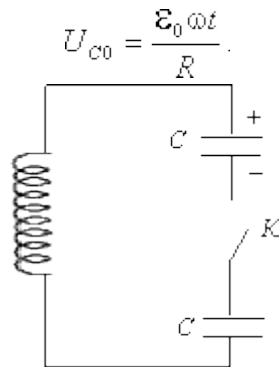
$$U_C = \frac{\mathcal{E}_0 \omega L}{R} \sin \omega t = U_{C0} \sin \omega t.$$

Поэтому амплитудное значение напряжения между обкладками конденсатора будет равно

$$U_{C0} = \frac{\mathcal{E}_0 \omega t}{R}.$$

Ответ:

**Задача 3.** В электрической цепи из двух одинаковых конденсаторов емкости  $C$  и катушки с индуктивностью  $L$ , соединенных последовательно, в начальный момент времени один конденсатор имеет заряд  $q_0$ , а второй не заряжен (рис. 2). Как будут изменяться со временем заряды конденсаторов и сила тока в контуре после замыкания ключа  $K$ ?



**Решение:**

Цепь, приведенная на рис. 2, представляет собой колебательный контур. Сила тока в нем будет меняться по закону

$$I = I_0 \sin \omega t. \quad (7)$$

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно найти максимальное значение силы тока  $I_0$  и частоту колебаний  $\omega$ . Частоту колебаний можно определить по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_{\text{эКВ}}}}, \quad (8)$$

где  $C_{\text{эКВ}}$  - емкость системы из двух последовательно соединенных конденсаторов емкостью  $C$ :

$$C_{\text{эКВ}} = \frac{C}{2}.$$

Подставляя значение  $C_{\text{эКВ}}$  в (8), получим, что частота колебаний в контуре будет равна

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{LC}}. \quad (9)$$



Подставим значение частоты (9) в выражение для силы тока (7), тогда получим, что сила тока в цепи будет меняться по закону

$$I = I_0 \sin\left(\sqrt{\frac{2}{LC}} t\right). \quad (10)$$

Для определения  $I_0$  можно воспользоваться законом сохранения энергии. Пусть в некоторый момент времени заряд одного из конденсаторов равен  $q_1$ , тогда заряд второго конденсатора будет  $q_2 = q_0 - q_1$ . В начальный момент времени энергия контура сосредоточена в электрическом поле заряженного конденсатора, в произвольный момент времени она перераспределяется между энергией электрического поля двух заряженных конденсаторов и энергией магнитного поля, сосредоточенного в катушке индуктивности. Следовательно, согласно закону сохранения энергии,

$$\frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI^2}{2} + \frac{q_1^2}{2C} + \frac{(q_0 - q_1)^2}{2C}.$$

Отсюда можно найти зависимость силы тока от заряда  $q_1$ .

$$I^2 = \frac{2q_1(q_0 - q_1)}{LC}.$$

Чтобы найти максимальное значение силы тока, нужно взять производную от  $I$  по  $q_1$  и приравнять ее к нулю.

$$\frac{dI}{dq_1} = \sqrt{\frac{1}{2LCq_1(q_0 - q_1)}}(q_0 - 2q_1) = 0.$$

Из последнего выражения видно, что максимальное значение силы тока

достигается при  $q_1 = \frac{q_0}{2}$ . Следовательно,

$$I_0 = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}}.$$

Подставляя полученное значение для максимального значения силы тока в (10), получим, что сила тока в цепи будет меняться по закону

$$I = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}} \sin\left(\sqrt{\frac{2}{LC}} t\right).$$

Чтобы найти закон изменения зарядов на пластинах конденсатора,

$$I^2 = \frac{2q_1(q_0 - q_1)}{LC}$$

воспользуемся выражением  $I^2 = \frac{2q_1(q_0 - q_1)}{LC}$ . Преобразовав его, получим квадратное уравнение для  $q_1$ :

$$q_1^2 - q_0 q_1 + \frac{LCI^2}{2} = 0.$$

Решая уравнение, получим:

$$q_1 = \frac{q_0}{2}(1 \pm \cos \omega t).$$

Разные знаки означают, что в начальный момент времени любой конденсатор может либо иметь заряд  $q_0$ , либо быть незаряженным. Пусть

$$q_1 = \frac{q_0}{2}(1 + \cos \omega t).$$

Тогда

$$q_2 = q_0 - q_1 = \frac{q_0}{2}(1 - \cos \omega t).$$

Ответ:

$$I = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}} \sin \left( \sqrt{\frac{2}{LC}} t \right), \quad q_1 = \frac{q_0}{2}(1 + \cos \omega t), \quad q_2 = \frac{q_0}{2}(1 - \cos \omega t).$$

**Задача 4.** Имеются два колебательных контура с одинаковыми катушками и конденсаторами. В катушку одного из контуров вставили железный сердечник, увеличивший ее индуктивность в  $n = 4$  раза. Найдите отношение резонансных частот контуров и их энергий, если максимальные заряды на конденсаторах одинаковы.

**Решение:**

Резонансные частоты контуров могут быть определены по формуле Томсона:

$$\nu_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \nu_2 = \frac{1}{\sqrt{nLC}}. \quad \text{Отсюда} \quad \frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{1}{n}} = \frac{1}{2}.$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{2}.$$

Ответ:  $\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{2}$ .

**Задача 5.** Два сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  и два диода подключены к источнику переменного тока с напряжением  $U$  так, как показано на рис. 3. Найдите среднюю мощность, выделяющуюся в цепи.

**Решение:**

Ток половину периода идет через один диод (например, 1). За это время на сопротивлении  $R_1$  выделяется средняя мощность

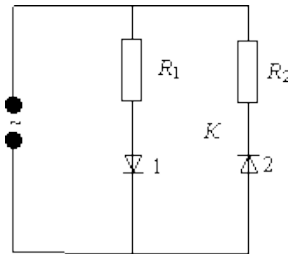
$$P_1 = \frac{U^2}{2R_1}.$$

В течение второго полупериода ток идет через диод 2, выделяя на нем среднюю мощность

$$P_2 = \frac{U^2}{2R_2}.$$

Таким образом, за полный период выделяется средняя мощность

$$P = P_1 + P_2 = \frac{U^2}{2} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}.$$



$$P = \frac{U^2}{2} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

Ответ:

### Краткие теоретические сведения:

#### Понятие о переменном токе

Свободные электромагнитные колебания быстро затухают и в практике используются редко, поэтому создают вынужденные гармонические колебания заряда, тока и напряжения.

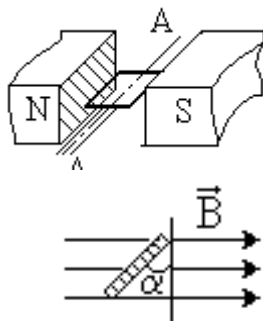
**Переменный ток** – вынужденные гармонические электромагнитные колебания в проводнике.

Поместим рамку площади  $S$  в однородное магнитное поле  $\vec{B}$ . Поток магнитной индукции через рамку  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ .

Если рамку равномерно вращать вокруг оси  $AA'$  с угловой скоростью  $\omega$ , то  $\alpha = \omega t$  и  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t$ .

Вследствие электромагнитной индукции в рамке возникает гармонически меняющаяся ЭДС

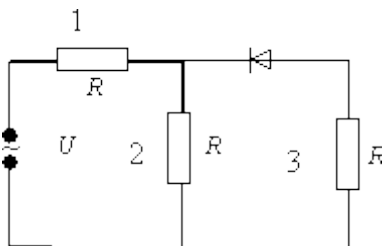
$\mathcal{E} = -\dot{\Phi} = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$  или  $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin \omega t$  ( $\varepsilon_0 = BS \cdot \omega$  – амплитуда ЭДС индукции) и можно говорить, что получен переменный ток.



- В общем случае (например, в индуктивности или емкости) ток и ЭДС могут не совпадать по фазе и их уравнения будут:  $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$ ;  $I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$ , где  $\varphi$  – сдвиг фаз между  $\varepsilon$  и  $I$ .
- Переменный ток бытовой электросети имеет частоту  $\nu = 50$  Гц и  $\omega = 2\pi\nu = 100\pi$  [рад/с].

#### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать название, характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи самостоятельно.



1. Три одинаковых резистора 1, 2, 3, имеющих сопротивление  $R$ , включены в цепь с диодом, как показано на рис. 4. Определите мощность, выделяющуюся на резисторе 3. Напряжение источника переменного тока равно  $U$ .

$$P = \frac{U^2}{18R}$$

Ответ:

2. На какую длину волны настроен колебательный контур, если он состоит из катушки с индуктивностью  $L = 2 \cdot 10^{-3}$  Гн и плоского конденсатора? Расстояние между пластинками конденсатора  $d = 1$  см, диэлектрическая проницаемость вещества, заполнившего пространство между пластинами,  $\epsilon = 11$ . Площадь каждой пластины  $S = 800 \text{ см}^2$ .

$$\lambda = 2\pi c \sqrt{L \frac{\epsilon S}{4\pi k d}} \cdot \lambda = 2,4 \cdot 10^3 \text{ м,}$$

Ответ: здесь  $c$  - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

3. Электропечь сопротивлением  $R = 22$  Ом питается от генератора переменного тока. Определите количество теплоты  $Q$ , выделяемое печью за время  $t = 1$  час, если амплитуда силы тока  $I_0 = 10$  А.

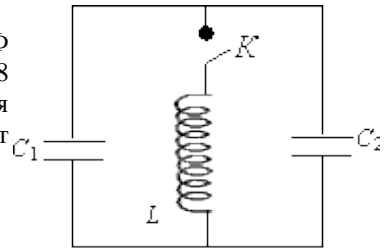
$$Q = \frac{I_0^2 R t}{2} = 4 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Ответ:

4. Заряженный конденсатор емкостью  $C = 0,2$  мкФ подключили к катушке с индуктивностью  $L = 8$  мГн. Через какое время от момента подключения энергия электрического поля конденсатора станет равной энергии магнитного поля катушки?

$$t = \frac{\pi \sqrt{LC}}{4} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

Ответ:



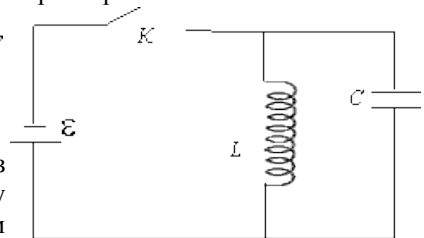
5. В колебательном контуре индуктивность катушки  $L = 2,5$  мГн, а емкости конденсаторов  $C_1 = 2,0$  мкФ,  $C_2 = 3,0$  мкФ. Конденсаторы зарядили до напряжения  $U = 180$  В и замкнули ключ  $K$  (рис. 5). Определите период  $T$  собственных колебаний и амплитудное значение силы тока  $I_0$  через катушку. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

$$T = 2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)} = 0,7 \text{ мс,}$$

$$I_0 = U \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L}} = 8,0 \text{ А.}$$

Ответ:

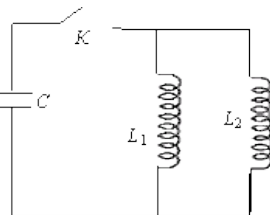
6. Колебательный контур через ключ  $K$  подключен к источнику электродвижущей силы с некоторым внутренним сопротивлением  $r$  (рис. 6).



Первоначально ключ  $K$  замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают и в контуре возникают колебания с периодом  $T$ . При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в  $n$  раз больше электродвижущей силы батареи. Определите индуктивность  $L$  катушки и емкость  $C$  конденсатора. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

Ответ:  $L = \frac{T\pi r}{2\pi}; C = \frac{T}{2\pi\pi r}$ .

7. Заряженный конденсатор емкости  $C$  замыканием ключа  $K$  подключают к двум параллельно соединенным катушкам с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 7). Максимальный ток, протекающий через катушку  $L_1$ , равен  $I_1$ . Определите первоначальный заряд  $q_0$  на конденсаторе. Сопротивление катушек и подводящих проводов пренебрежимо мало.



Ответ:  $q_0 = I_1 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} C(L_1 + L_2)$ .

**Ход работы:**

1. В ходе работы необходимо рассмотреть ряд качественных задач и далее решить несколько расчетных задач по мере возрастания их сложности.
2. При решении задач на законы переменного тока нужно начертить электрическую цепь и проанализировать, как соединены резисторы, источники тока, катушки индуктивности, конденсаторы.
3. Следует помнить, что сила тока, напряжение на различных элементах цепи и электродвижущая сила совершают гармонические колебания с различными фазами. Поэтому при последовательном соединении элементов цепи сила тока на всех участках цепи одинакова в каждый момент времени. Однако напряжение во всей цепи не равно сумме арифметических напряжений на отдельных участках. Оно находится по правилу векторного сложения с помощью векторной диаграммы, при этом учитывается наличие в цепи переменного тока, активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
4. Если активное сопротивление в цепи отсутствует, то для решения задач часто используют формулу Томсона.
5. Для решения задач на превращение электрической энергии в тепловую и механическую используют закон сохранения и превращения энергии.

**Форма представления результата:** выполненная практическая работа.

## Тема 4.6 Переменный ток

### Практическая работа № 14

#### Решение задач по теме: «Сопротивление в цепи переменного тока»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Переменный ток. Виды сопротивлений».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по кинематике, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

Рассмотреть примеры решения задач

1. Электротехническое устройство с потребляемой мощностью  $50 \text{ Вт}$  и напряжением питания  $110 \text{ В}$  нужно включить в сеть переменного напряжения  $220 \text{ В}$  частотой  $50 \text{ Гц}$ . Найти емкость конденсатора, который необходимо подключить последовательно данному устройству, чтобы компенсировать избыточное напряжение.

##### Решение:

Для решения задачи необходимо определить ток и напряжение компенсирующего конденсатора, что позволит найти его реактивное сопротивление, а следовательно, и емкость. Поэтому ток в цепи не должен превышать

$$I = \frac{P}{U_{\text{пит}}} = \frac{50}{110} = 0,455 \text{ А.}$$

Напряжение на конденсаторе должно быть равно векторной разности напряжений питания и нагрузки:

$$U_C = \sqrt{U_{\text{пит}}^2 - U_n^2} = \sqrt{220^2 - 110^2} = 191 \text{ В.}$$

Зная напряжение и ток конденсатора, находим его реактивное сопротивление:

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{191}{0,455} = 420 \text{ Ом.}$$

По известной формуле для определения емкостного сопротивления

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ ; находим искомую емкость конденсатора

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 420)} = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 7,6 \text{ мкФ.}$$

**Ответ:** Емкость конденсатора, который необходимо подключить последовательно данному устройству, чтобы скомпенсировать избыточное напряжение  $C = 7,6 \text{ мкФ}$ .

2. В электрическую цепь переменного тока напряжением  $U = 220 \text{ В}$ , частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  включена катушка с индуктивностью  $L = 0,0127 \text{ Гн}$  и активным сопротивлением  $R_A = 3 \text{ Ом}$ .

Определить:

- 1) реактивное сопротивление катушки;
- 2) ток в катушке;
- 3) активную мощность катушки;
- 4) реактивную мощность катушки;
- 5) энергию, запасаемую в магнитном поле катушки.

**Решение:**

$$X_L = \omega L = 2 \pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0127 = 4 \text{ Ом};$$

$$Z = \sqrt{R_A^2 + X_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом};$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А};$$

$$P = U_A \cdot I = I^2 \cdot R_A = 44^2 \cdot 3 = 1936 \cdot 3 = 5808 \text{ Вт};$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{4}{5} = 0,8;$$

$$Q = UI \sin \varphi = 220 \cdot 44 \cdot 0,8 = 7744 \text{ Вар};$$

$$W_{LM} = LI^2 = 0,0127 \cdot 44^2 = 24,59 \text{ Дж.}$$

**Ответ:**  $X_L = 4 \text{ Ом}$ ;  $Z = 5 \text{ Ом}$ ;  $I = 44 \text{ А}$ ;  $P = 5808 \text{ Вт}$ ;  $\sin \varphi = 0,8$ ;  $Q = 7744 \text{ Вар}$ ;  $W$

$$W_{LM} = 24,59 \text{ Дж.}$$

3. К генератору переменного электрического тока с напряжением  $U = 240 \text{ В}$  и частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  присоединен конденсатор с емкостью

$C = 40 \text{ мкФ}$ . Определить: 1) реактивное сопротивление емкости  $X_C$ ;

2) ток в электрической цепи;

3) реактивную мощность цепи  $Q_L$  ;

4) максимальную энергию, запасаемую в электрическом поле конденсатора  $W_{CМ}$  .

**Решение:**

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40} \approx \frac{10^6}{12500} = 80 \text{ Ом.}$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{240}{80} = 3 \text{ А.}$$

$$Q_L = U \cdot I = 240 \cdot 3 = 720 \text{ Вар.}$$

$$W_{CМ} = C \cdot U^2 = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 240^2 = 2,7 \text{ дж.}$$

**Ответ:** Реактивное сопротивление емкости  $X_C = 80 \text{ Ом.}$

Ток в электрической цепи  $I = 3 \text{ А;}$

Реактивная мощность цепи  $Q_L = 720 \text{ Вар;}$

Максимальная энергия, запасаемая в электрическом поле конденсатора  $W_{CМ} = 2,7 \text{ дж.}$

4. В электрическую цепь переменного тока напряжением  $U = 220 \text{ В}$ , частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  включена катушка с индуктивностью  $L = 25,5 \text{ мГн}$  и активным сопротивлением  $R_A = 6 \text{ Ом.}$

Определить:  $X_L$  ;  $Z$  ;  $U_A$  ;  $U_P$  ;  $\cos\varphi$ .

**Решение:**

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0255 = 8 \text{ Ом;}$$

$$Z = \sqrt{R_A^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ Ом;}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А;}$$

$$U_A = I R = 22 \cdot 6 = 132 \text{ В;}$$

$$U_P = U_L = I \cdot X_L = 22 \cdot 8 = 176 \text{ В;}$$

$$\cos\varphi = \frac{R_A}{Z} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

**Ответ:**  $X_L = 8 \text{ Ом; } Z = 10 \text{ Ом; } I = 22 \text{ А; } U_A = 132 \text{ В; } U_P = U_L = 176 \text{ В; } \cos\varphi = 0,6.$



5. В электрическую сеть напряжением 220В включено 16 одинаковых электрических ламп мощностью по 100Вт каждая. Определить необходимое сечение медного провода, соединяющего эти электрические лампочки.

Площадь поперечного сечения медного провода, мм <sup>2</sup>	Наиболее допустимый электрический ток, А
0,50	10
0,75	13
1,0	15

**Решение:**

Полная мощность  $P = P \text{ ламп} \cdot 16 = 100 \cdot 16 = 1600 \text{ Вт}$ .

$$\text{Ток в проводе } I = \frac{P}{U} = \frac{1600}{220} = 7,273 \text{ А}$$

По таблице, приведенной в условии задачи, выбираем сечение провода;

$$S = 0,50 \text{ мм}^2$$

**Ответ:** Сечение медного провода, необходимое для подключения 16 одинаковых электрических ламп мощностью по 100Вт каждая в электрическую сеть напряжением 220В равно 0,50 мм<sup>2</sup>.

6. Генератор переменного тока, используемый для получения переменной электродвижущей силы, имеет частоту вращения 2800 об/мин. Определить частоту, период и угловую частоту электрического тока, возникающего при подключении генератора к нагрузке, если число пар полюсов генератора равно 6.

**Решение:**

Частота электрического тока генератора  $f = np/60 = 6 \cdot 2800/60 = 280 \text{ Гц}$ .

Период  $T = 1 / f = 1/280 = 0,0036 \text{ с}$

и угловая частота  $\omega = 2\pi/T = 2 \pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 280 = 1750 \text{ 1/с}$ .

**Ответ:** Частота электрического тока равна  $f = 280 \text{ Гц}$ ,

период электрического тока равен  $T = 0,0036 \text{ с}$ ,

угловая частота электрического тока равна  $\omega = 1750 \text{ 1/с}$ .

7. В электрическую цепь переменного тока напряжением  $U = 220 \text{ В}$ , частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  включена катушка с индуктивностью  $L = 25,5 \text{ мГн}$  и активным

сопротивлением  $R = 6 \text{ Ом}$ ;  $I = 22 \text{ А}$ ;  $U_A = 132 \text{ В}$ ;  $\cos \varphi = 0,6$ .

Определить:

- 1) максимальную мощность в активном сопротивлении  $P_{\text{Ак}}$ ;
- 2) активную мощность;
- 3) реактивную мощность;
- 4) полную мощность.

**Решение:**

$$P_{\text{Ак}} = 2 U_A I = 2 \cdot 132 \cdot 22 = 5808 \text{ Вт}$$

$$P = UI \cos \varphi = 220 \cdot 22 \cdot 0,6 = 2904 \text{ Вт.}$$

$$Q = UI \sin \varphi = 220 \cdot 22 \cdot 0,8 = 3872 \text{ Вар.}$$

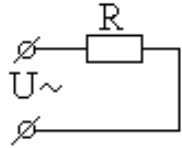
$$S = UI = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ ВА.}$$

**Ответ:**  $P_{\text{ам}} = 5808 \text{ Вт. } P = 2904 \text{ Вт. } Q = 3872 \text{ Вар. } S = 4840 \text{ ВА.}$

### Краткие теоретические сведения:

#### Резистор в цепи переменного тока

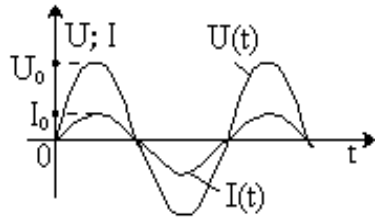
Включим резистор сопротивления  $R$  в сеть переменного тока напряжения  $U(t) = U_0 \sin \omega t$  (\*). В каждый конкретный момент времени прохождение переменного тока в резисторе качественно ничем не отличается от прохождения постоянного и подчиняется закону Ома:



$$I(t) = \frac{U(t)}{R}. \text{ Тогда } I(t) = \frac{U_0}{R} \sin \omega t \text{ или}$$

$$I(t) = I_0 \sin \omega t \text{ (**).}$$

Из (\*) и (\*\*) видно, что  $I(t)$  совпадает по фазе с  $U(t)$ . Графики  $I(t)$  и  $U(t)$ , в одной системе координат, имеют вид:



- Вся подводимая к резистору электрическая энергия превращается в тепловую, т. е. он обладает *активным сопротивлением*.

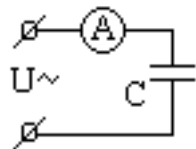
**Активное (омическое) сопротивление ( $R$ )** – сопротивление резистора без учёта его ёмкости и индуктивности.

- Активное сопротивление равно сопротивлению проводника постоянному току.

#### Ёмкость в цепи переменного тока

Известно, что конденсатор постоянный ток не проводит (цепь между обкладками разомкнута).

Включим конденсатор ёмкости  $C$  в цепь переменного тока напряжения  $U(t) = U_0 \sin \omega t$  (\*). Под действием гармонического напряжения конденсатор перезаряжается, полярность его обкладок меняется и амперметр показывает ток перезарядки.



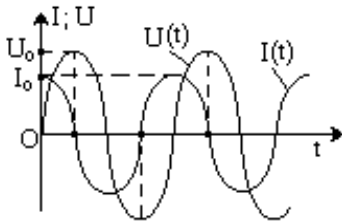
Пренебрегая потерями, получим  $U(t) = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{C}$ .

Тогда  $\frac{q}{C} = U_0 \sin \omega t$ ,  $q = CU_0 \sin \omega t$ .

Сила тока:  $I(t) = q' = CU_0 \omega \cos \omega t$  или  $I(t) = CU_0 \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$  (\*\*).

Из (\*) и (\*\*) видно, что  $I(t)$  опережает по фазе  $U(t)$  на  $\frac{\pi}{2}$ .

Графики  $I(t)$  и  $U(t)$  в одной системе координат, имеют вид:



В момент начала зарядки ток в конденсаторе максимален, напряжение на обкладках равно нулю. В конце зарядки напряжение максимально, ток равен нулю. Учтя (\*\*), обозначим  $I_0 = U_0 \cdot C \cdot \omega$  и  $\frac{1}{\omega C} = X_C$ . Тогда  $I_0 = \frac{U_0}{X_C}$  (\*\*\*) – аналогия закона Ома для переменного тока.

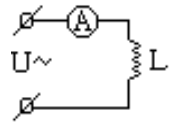
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ – ёмкостное сопротивление переменному току.}$$

- $X_C$  уменьшается с ростом  $\omega$  и  $C$ . Включив лампу накаливания через конденсатор, увидим, что при увеличении его ёмкости яркость свечения лампы увеличивается.

### Индуктивность в цепи переменного тока

Включим катушку индуктивности  $L$  в цепь переменного тока напряжения  $U(t) = U_0 \sin \omega t$  (\*) (активное сопротивление провода катушки  $R \approx 0$ ).

Электрического поля в катушке не должно быть (иначе оно создало бы в бесконечно малом сопротивлении провода катушки бесконечно большой ток), однако, к выводам катушки приложено напряжение  $U(t)$ , создающее в ней электрическое поле, которым пренебречь нельзя. Отсутствие



электрического поля  $E = \frac{U}{\ell}$  ( $\ell$  – длина провода катушки) в катушке объясняют

тем, что при изменении магнитного поля тока в ней возникает (вследствие самоиндукции) вихревое электрическое поле, практически полностью компенсирующее электрическое поле, созданное в катушке внешним источником напряжения  $U(t)$  (нескомпенсированное малое поле  $E_1$  создаёт ток катушки  $I(t)$ ).

Полагая  $E_1 \approx 0$ , запишем  $U(t) + \varepsilon = 0 \Rightarrow U(t) = -\varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС самоиндукции.  $\varepsilon =$

$$-\Phi' = -LI'(t) \Rightarrow U(t) = LI'(t) \Rightarrow I'(t) = \frac{U_0}{L} \sin \omega t.$$

$$I(t) = \frac{U_0}{L} \int \sin \omega t dt = -\frac{U_0}{\omega L} \cos \omega t \text{ или } I(t) = \frac{U_0}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) (**).$$

Из (\*) и (\*\*) видно, что  $I(t)$  отстаёт по фазе от  $U(t)$  на  $\frac{\pi}{2}$ .

Графики  $I(t)$  и  $U(t)$  в одной системе координат, имеют вид:

При максимальном напряжении на выводах катушки ток в ней равен нулю, а в момент исчезновения напряжения ток максимален.

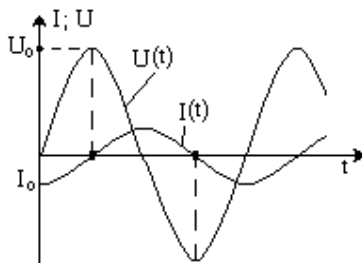
Учтя (\*\*), обозначим  $I_0 = \frac{U_0}{\omega \cdot L}$  и  $\omega L = X_L$ .

Тогда  $I_0 = \frac{U_0}{X_L}$  (\*\*\*) – аналогия закона

Ома для переменного тока.

$X_L = \omega \cdot L$  – индуктивное сопротивление переменному току.

- $X_L$  растет с ростом  $\omega$  и  $L$ . Включив лампу накаливания через катушку, увидим, что при введении сердечника в катушку ( $L$  возрастает) яркость свечения лампы уменьшается.



### Порядок выполнения работы:

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать название, характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи №№1-4 самостоятельно.

- 1) При холостом ходе генератора (рисунок 1) вольтметр показывает  $E = 200\text{В}$ . Определить показания вольтметра ( $U$ ) при подключении нагрузки, если значение тока равно  $I_1 = 10\text{А}$ ,  $I_2 = 40\text{А}$ . Найти ток короткого замыкания ( $I_{кз}$ ), если внутреннее сопротивление генератора  $R_0 = 0,5\text{Ом}$ .

- 2) К сети переменного напряжения  $220\text{В}$  подключена катушка с активным сопротивлением  $6\text{Ом}$  и индуктивностью  $50\text{ мГн}$  (рисунок 5.3). Определить действующее значение тока, полную, активную и реактивную мощности.



Рисунок 5.3

- 3) В цепи переменного тока с активным сопротивлением и емкостью при частоте  $100\text{Гц}$

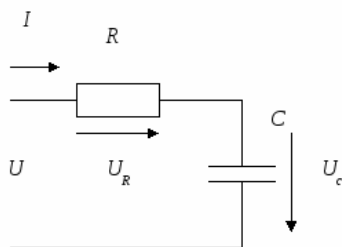


Рисунок 5.6

измерительные приборы показывают: амперметр –  $6\text{А}$ , вольтметр –  $180\text{В}$ , ваттметр –  $360\text{Вт}$ . Определить параметры схемы замещения (рисунок 5.6) с последовательным соединением элементов, реактивную и полную мощности цепи.

- 4) В сеть переменного синусоидального тока напряжением  $U = 220\text{В}$  необходимо

включить электрическую лампу напряжением  $U_n=127\text{В}$  и мощностью  $P_n=100\text{Вт}$ . Определить емкость конденсатора  $C$ , который необходимо включить последовательно с лампой, чтобы напряжение на лампе не превышало номинального  $U_n=127\text{В}$ . На какое напряжение должен быть рассчитан конденсатор (рабочее напряжение), чтобы иметь четырехкратный запас прочности? Частота тока сети  $f=50\text{Гц}$ .

**Ход работы:**

1. При решении задач на законы переменного тока нужно начертить электрическую цепь и проанализировать, как соединены резисторы, источники тока, катушки индуктивности, конденсаторы.
2. Следует помнить, что сила тока, напряжение на различных элементах цепи и электродвижущая сила совершают гармонические колебания с различными фазами. Поэтому при последовательном соединении элементов цепи сила тока на всех участках цепи одинакова в каждый момент времени. Однако напряжение во всей цепи не равно сумме арифметических напряжений на отдельных участках. Оно находится по правилу векторного сложения с помощью векторной диаграммы, при этом учитывается наличие в цепи переменного тока, активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
3. Если активное сопротивление в цепи отсутствует, то для решения задач часто используют формулу Томсона.
4. Для решения задач на превращение электрической энергии в тепловую и механическую используют закон сохранения и превращения энергии.

**Форма представления результата:** выполненная практическая работа.

## Тема 4.6. Переменный ток

### Практическая работа № 15

#### Решение задач по теме: «Колебания в сети переменного тока»

##### Цель:

1. Повторить основные термины и формулы раздела «Переменный ток. Виды сопротивлений».
2. Сформировать умение применять формулы при решении задач.
3. Развивать логическое мышление, память, внимание; умение рассуждать и выделять главное.
4. Развивать навыки самоконтроля и взаимоконтроля.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- решать задачи по кинематике, как качественного, так и расчетного характера.

##### Материальное обеспечение:

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

##### Задание:

##### Решить задачи

1. От чего зависит период собственных незатухающих электромагнитных колебаний в контуре?
2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ и катушки индуктивностью  $L = 0,01$  Гн. Вычислить период колебаний в контуре. Можно ли возникшие колебания считать высокочастотными?
3. Колебательный контур состоит из лейденских банок общей электроемкостью  $C = 6 \cdot 10^{-3}$  мкФ и катушки индуктивностью  $L = 11$  мкГн. Вычислить частоту электромагнитных колебаний в контуре.
4. Катушку какой индуктивности надо включить в колебательный контур, чтобы с конденсатором емкостью  $C = 2$  мкФ получить электромагнитные колебания частотой  $\nu = 1000$  Гц?
5. Какой емкости конденсатор нужно включить в колебательный контур с катушкой индуктивности  $L = 0,76$  Гн, чтобы получить в нем электрические колебания звуковой частоты  $\nu = 400$  Гц?

##### Краткие теоретические сведения:

##### Действующие значения мощности, силы и напряжения переменного тока

При  $I = \text{const}$  на резисторе  $R$  рассеивается мощность  $P = I^2 \cdot R$  и энергия  $Q = P \cdot t$ .

При  $I(t) = I_0 \sin \omega t$ , разбивая время  $t$  на бесконечно малые интервалы  $\Delta t_i$ , полагаем, что на  $\Delta t_i$   $I(\Delta t_i) = I_i = \text{const}$  и мгновенная мощность  $P(\Delta t_i) =$   
 $= P_i = I^2(\Delta t_i) \cdot R = I_i^2 \cdot R$ ;  $P_i = I_0^2 R \sin^2 \omega t_i = I_0^2 R \frac{(1 - \cos 2\omega t_i)}{2}$ .

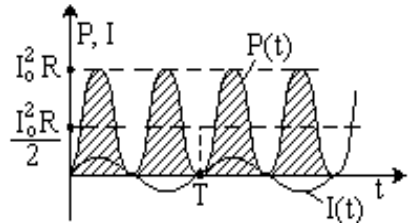
Из графиков  $P(t)$  и  $I(t)$  видно, что

количество теплоты  $Q = \sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i$ ,

выделившееся на резисторе  $R$  за период

$T = n \Delta t_i$ , равно площади фигуры, ограниченной кривой  $P(t)$  и осью  $t$  на интервале  $[0, T]$ , причем такое же

количество теплоты (численно равное площади прямоугольника со сторонами  $\frac{I_0^2 R}{2}$  и  $T$ ) выделилось бы на резисторе  $R$  при протекании по нему постоянного



тока мощности  $P_{\text{пост}} = I_{\text{пост}}^2 \cdot R = \frac{I_0^2 R}{2}$ .

**Действующее значение мощности переменного тока ( $P$ )** – величина, численно равная мощности постоянного тока  $P_{\text{пост}}$ , при условии, что оба тока за одинаковое время, равное периоду переменного тока  $T$ , на равных резисторах  $R$  выделяют равные количества теплоты  $Q$ .

$$\text{Из } P = P_{\text{пост}} \text{ и } U_0 = I_0 \cdot R \Rightarrow P = \frac{I_0^2 R}{2} = \frac{I_0 U_0}{2} = \frac{U_0^2}{2R}.$$

- Действующее значение мощности переменного тока часто называют **активной мощностью**.

**Действующее значение силы переменного тока ( $I$ )** – величина, численно равная силе постоянного тока  $I_{\text{пост}}$ , при условии, что оба тока за одинаковое время, равное периоду переменного тока  $T$ , на равных резисторах  $R$  выделяют равные мощности.

$$\text{Из } P = P_{\text{пост}} = I_{\text{пост}}^2 R = I^2 \cdot R = \frac{I_0^2 R}{2} \Rightarrow I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

**Действующее значение напряжения переменного тока ( $U$ )** – величина, численно равная напряжению постоянного тока  $U_{\text{пост}}$ , при условии, что оба тока за одинаковое время, равное периоду переменного тока  $T$ , на равных резисторах  $R$  выделяют равные мощности.

$$\text{Из } P = P_{\text{пост}} = \frac{U_0^2}{2R} = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

Тогда  $P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U \cdot I$ , что аналогично формулам расчёта мощности постоянного тока.

Если цепь содержит индуктивности и (или) ёмкости, то между током  $I$  и напряжением  $U$  в ней имеется сдвиг фаз  $\varphi$ . Тогда

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \int_0^T I \cdot U \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 \sin \omega t \cdot I_0 \sin(\omega t + \varphi) dt = \\
 &= \frac{I_0 U_0}{T} \int_0^T \cos \varphi \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt + \frac{I_0 U_0}{T} \int_0^T \sin \varphi \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t \cdot dt = \\
 &= \frac{I_0 U_0}{T} \cos \varphi \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \cdot dt + \frac{I_0 U_0}{T} \sin \varphi \cdot \int_0^T \frac{\sin 2\omega t}{2} \cdot dt = \frac{I_0 U_0}{2} \cos \varphi = IU \cos \varphi
 \end{aligned}$$

Значит,  $P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$ , где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

- На практике нас редко интересуют амплитудные или мгновенные значения силы, напряжения или мощности переменного тока. Интерес представляют их действующие значения.

### Закон Ома для переменного тока

Известно, что в цепях переменного тока:

а) для активного сопротивления  $R$ :  $I_0 = \frac{U_0}{R}$ ; б) для ёмкости  $C$ :  $I_0 = \frac{U_0}{X_C}$ ; в) для

индуктивности  $L$ :  $I_0 = \frac{U_0}{X_L}$ .

Учтя, что  $I_0 = I \cdot \sqrt{2}$  и  $U_0 = U \cdot \sqrt{2}$ , получим закон Ома для переменного тока для резистора, ёмкости и индуктивности:

$$\boxed{I = \frac{U}{R}}; \quad \boxed{I = \frac{U}{X_C}}; \quad \boxed{I = \frac{U}{X_L}}.$$

### Резонанс в цепи переменного тока

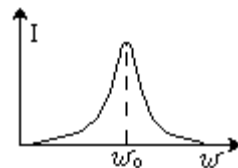
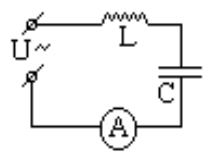
Соберём цепь из катушки индуктивности  $L$ , конденсатора  $C$ , амперметра переменного тока  $A$  и источника переменного напряжения  $U = U_0 \sin \omega t$  с изменяемой частотой  $\omega$ . Активное сопротивление проводов и катушки индуктивности  $R \approx 0$ .

Фиксируя  $U_0 = \text{const}$  и изменяя частоту  $\omega$  от 0 до максимально возможного значения, снимем зависимость силы действующего

тока в цепи  $I(\omega)$ . Оказалось, что на частоте  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

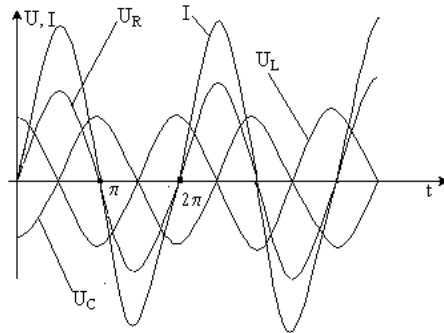
наблюдается резкое увеличение тока.

**Резонанс** – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных электромагнитных колебаний при совпадении частоты вынуждающего напряжения с





собственной частотой колебаний контура.



С учётом сопротивления  $R$ :  $U = U_R + U_L + U_C$  ( $U_R, U_L, U_C$  – падения напряжения на  $R, L$  и  $C$ ). В активном сопротивлении колебания тока  $I$  и падения напряжения  $U_R$  совпадают по фазе, в индуктивности  $-I$  отстаёт от  $U_L$  на  $\frac{\pi}{2}$ , в ёмкости  $-I$

опережает  $U_C$  на  $\frac{\pi}{2}$ . Значит, падения напряжения на индуктивности и ёмкости колеблются в противофазе, и уравнение для цепи с учётом фаз примет вид:  $U = U_R + |U_L| - |U_C|$ .

Резонанс объясняют тем, что на  $\omega_0$   $U_L$  и  $U_C$  равны и противофазны:  $U_L + U_C = 0$  или, с учётом фаз,  $|U_L| - |U_C| = 0$ ; все приложенное напряжение  $U$  падает на активном сопротивлении  $R \approx 0$  и сила тока в цепи резко возрастает:

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow \infty. \text{ Из } U_L = X_L I = \omega L I \text{ и } U_C = X_C I = \frac{I}{\omega C} \Rightarrow$$

$\Rightarrow |X_L I| - |X_C I| = 0$ , т. е. при резонансе значения индуктивного и емкостного

сопротивлений переменному току равны:  $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$  (\*). При резонансе  $|U_L| =$

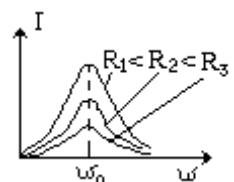
$\omega L I$  может быть значительно больше значения внешнего приложенного напряжения  $U = IR$ , т.к.  $\omega L \gg R$ .

Т.к.  $|U_L| = |U_C|$ , при резонансе величины падений напряжений на индуктивности и ёмкости резко возрастают, значительно превосходя величину внешнего приложенного напряжения.

Электромагнитный резонанс (как и механический) наступает при совпадении частоты внешних воздействий с собственной частотой колебаний системы, при этом активное сопротивление действует аналогично силе трения – переводит энергию колебаний в энергию потерь (тепло).

Для разных  $R$  (при постоянных  $L, C$ ) кривые  $I(\omega)$  имеют вид:

- При значительных  $R$  резонанс может быть практически незаметным.



- Резонанс широко используют в радиотехнике (при настройке контура радиоприёмника на частоту выбранной радиостанции и пр.).

### **Порядок выполнения работы:**

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
  2. Дать название, характеристику физических величин и их единиц измерения.
  3. Решить задачи самостоятельно.
- 1) Во сколько раз изменится период и частота свободных незатухающих колебаний в контуре, если его индуктивность увеличить в 2 раза, а емкость — в 4 раза?
  - 2) Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 2,5 \cdot 10^{-6}$  Гн и двух конденсаторов, соединенных между собой параллельно, емкостью  $C = 5 \cdot 10^{-3}$  мкФ каждый. Определить период электрических колебаний в контуре.
  - 3) В колебательном контуре частота собственных колебаний  $\nu_1 = 30$  кГц, при замене конденсатора частота стала  $\nu_2 = 40$  кГц. Какой будет частота колебаний в контуре: а) при параллельном соединении обоих конденсаторов; б) при последовательном соединении?
  - 4) Колебательный контур состоит из воздушного конденсатора, площадь каждой пластины которого  $S = 100$  см<sup>2</sup>, и катушки индуктивностью  $L = 10^{-5}$  Гн. Период колебаний в контуре  $T = 107$  с. Определить расстояние между пластинами конденсатора.

### **Ход работы:**

1. При решении задач на законы переменного тока нужно начертить электрическую цепь и проанализировать, как соединены резисторы, источники тока, катушки индуктивности, конденсаторы.
2. Следует помнить, что сила тока, напряжение на различных элементах цепи и электродвижущая сила совершают гармонические колебания с различными фазами. Поэтому при последовательном соединении элементов цепи сила тока на всех участках цепи одинакова в каждый момент времени. Однако напряжение во всей цепи не равно сумме арифметических напряжений на отдельных участках. Оно находится по правилу векторного сложения с помощью векторной диаграммы, при этом учитывается наличие в цепи переменного тока, активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
3. Если активное сопротивление в цепи отсутствует, то для решения задач часто используют формулу Томсона.
4. Для решения задач на превращение электрической энергии в тепловую и механическую используют закон сохранения и превращения энергии.

**Форма представления результата:** выполненная практическая работа.

## Тема 4.8. Трёхфазные системы

### Практическая работа 16 Решение задач по теме: «Трёхфазный ток».

**Цель работы:** научиться применять законы Кирхгофа для расчета сложных электрических цепей.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- применять законы Кирхгофа для расчета токов;
- уясните понятия «узел» и «ветвь»;

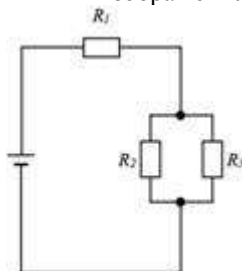
**Материальное обеспечение:** -

- посадочные места по количеству обучающихся;
- раздаточный материал с заданиями;
- сборники задач
- справочные материалы

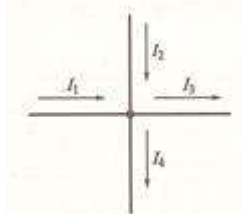
**Задание:**

Решить задачи:

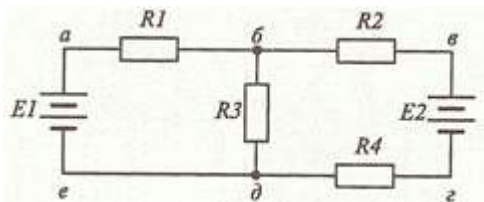
1. Сколько узлов, ветвей и контуров имеет электрическая цепь, изображенная на рисунке?



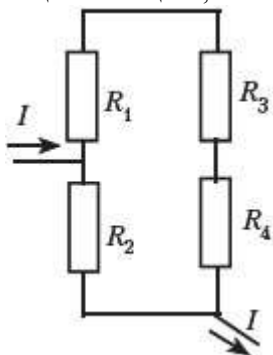
- 2). Напишите уравнение согласно первому закону Кирхгофа для узла, изображенного на рисунке.



- 3). Нарисуйте электрический узел, для которого согласно первому закону Кирхгофа составлено следующее уравнение:  $I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 - I_6 = 0$
- 4). Напишите уравнения согласно второму закону Кирхгофа для контура б-в-г-д.



5). В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, резисторы имеют сопротивления  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 10 \text{ Ом}$ . Определите общий ток в цепи, если напряжение между точками А и Б равно 24 В.



### Краткие теоретические сведения:

Для расчета токов в различных ветвях любой разветвленной цепи с произвольным числом источников и потребителей необходимо знать и применять законы Ома и Кирхгофа.

Определим, что такое ветвь и узел. Точка электрической цепи называется **узлом** или точкой разветвления, если в ней соединены три или большее число проводов (ветвей). (рис.1).

**Ветвь электрической цепи** – это участок, расположенный между двумя узлами.

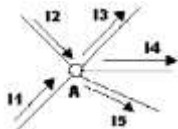


РИСУНОК 1

При постоянных токах в цепи ни в одной из ее точек не могут накапливаться электрические заряды, так как это вызвало бы изменение потенциалов точек цепи. Следовательно, электрические заряды, протекающие к

какому-либо узлу в единицу времени, равны зарядам, утекающим от этого узла за ту же единицу времени. Это положение выражает **первый закон Кирхгофа**, который формулируется так: сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от него.

Например, для узла *A* можно написать:  $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$ , или придав уравнению другой вид, получим:

$I_1 + I_2 + (-I_3) + (-I_4) + (-I_5) = 0$ , а в общем виде  $\sum I = 0$ , т.е. алгебраическая сумма токов в узле равна нулю. При этом токи, направленные от узла, считаются отрицательными.

Вспомним основные свойства последовательного и параллельного соединений проводников, приемников энергии.

**Последовательным соединением проводников** – приемников электрической энергии называется соединение, при котором электроприемники соединены один за другим без разветвлений и при наличии источника питания по ним проходит один и тот же ток:  $I = I_1 = I_2 = I_3$  (рис.2).

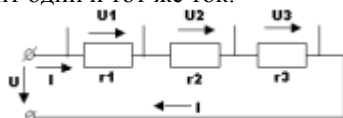


РИСУНОК 2

По закону сохранения энергии, энергия, затраченная на перемещение единичного заряда вдоль всей цепи, равна сумме энергий. Затраченных на перемещение того же заряда на всех участках цепи, т.е. напряжение на зажимах цепи равна сумме напряжений на всех участках ее:  $U = U_1 + U_2 + U_3$

Сопротивление *r* называется **эквивалентным** (общим) сопротивлением цепи, т.е. таким, замена которым всех сопротивлений цепи при неизменном напряжении не вызывает силы тока. Эквивалентное сопротивление ряда последовательно соединенных сопротивлений равно сумме этих сопротивлений:  $r = r_1 + r_2 + r_3$

Примером последовательного соединения может служить цепь, рассмотренная на рисунке 3, состоящая из проводов и приемника энергии.

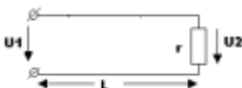


РИСУНОК 3

**Параллельным соединением приемников энергии** называется соединение, при котором один зажим каждого из приемников присоединен к одной точке электрической цепи, а другой зажим каждого из тех же приемников присоединен к другой точки цепи. Таким образом, между двумя узлами приемники образуют параллельные ветви. (рис.4).

Наличие узла в схеме – это признак параллельного соединения.

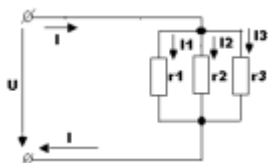


РИСУНОК 4

Напряжение на приемниках одинаково и равно положению между узлами:

$$U = U_1 = U_2 = U_3,$$

Токи в ветвях распределяются обратно пропорционально сопротивлениям ветвей или прямо пропорционально их проводимостям:

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3} = g_1 : g_2 : g_3,$$

Замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называют **контуром электрической цепи**.

Прежде чем приступить к рассмотрению физического смысла и вывода второго закона Кирхгофа, вспомним понятия работы и мощности электрической цепи.

Как вычисляется, каким прибором измеряется и как подсчитывается полезная работа или расход энергии? в каких единицах измеряются работ и мощность в электрической цепи?

Мощность характеризуется как скорость совершения работы в источнике питания или в приемнике энергии:  $P = \frac{A}{t}$  - общий вид формулы;  $P_{\text{ист}} = E \cdot I$  - мощность источника электрической энергии;  $P_{\text{пол}} = (U + U_0) I = UI + U_0 I$ , где  $P = UI$  - мощность потребителей;  $P_0 = U_0 I = I^2 r_0$  - потеря мощности в источнике.

Уравнение баланса мощности можно записать на основании закона сохранения энергии таким образом:  $P_{\text{ист}} = P + P_0$ .

Сделаем некоторые преобразования: в выражение для баланса мощностей подставим выражения для мощности источника и мощностей потребителей, при этом получим:

$$P_{\text{ист}} = P + P_0; P_{\text{ист}} = E \cdot I; P = UI; P_0 = U_0 I = I^2 r_0$$

$EI = I^2 r + I^2 r_0$ . Если разделить обе части равенства на ток  $I$ , то  $E = Ir + I r_0$ .

В данном случае всякая электрическая цепь и ее отдельные элементы являются преобразователями энергии, а ЭДС источника поддерживает электрический ток в электрической цепи.

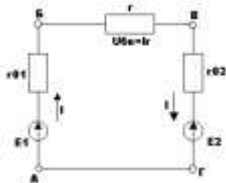
Энергия, получаемая одним кулоном электричества в электрической цепи полностью расходуется потребителями и в соединительных проводах. Такое выражение частного случая всеобщего закона сохранения энергии и называется вторым законом Кирхгофа:  $\sum E = \sum Ir$

В любом замкнутом электрическом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур.

Если этот закон записать как  $\sum E - \sum Ir = 0$ , то он выражает условие, что алгебраическая сумма изменений потенциала при обходе замкнутого контура равна нулю.

При составлении уравнений по этому закону ЭДС и токи считаются положительными, если направления их совпадают с направлением произвольно выбранного обхода контура, в противном случае они считаются отрицательными и в уравнении  $\sum E = \sum Ir$  записываются со знаком «-».

Например для контура АБВГА (рис.5), обходя его по направлению движения по часовой стрелке, можно написать:  $E_1 + (-E_2) = Ir_{1a} + Ir + Ir_{2a}$ .



**Порядок выполнения работы:**

1. Выписать формулы по пройденному материалу.
2. Дать название, характеристику физических величин и их единиц измерения.
3. Решить задачи самостоятельно.

1. Освещение здания питается от четырехпроводной трехфазной сети с линейным напряжением  $U_{л} = 380$  В. Первый этаж питается от фазы "А" и потребляет мощность 1760 Вт, второй – от фазы "В" и потребляет мощность 2200 Вт, третий – от фазы "С", его мощность 2640 Вт. Составить электрическую схему цепи, рассчитать токи, потребляемые каждой фазой, и ток в нейтральном проводе, вычислить активную мощность всей нагрузки. Построить векторную диаграмму.
2. В трехфазную сеть с  $U_{л} = 380$  В включен соединенный треугольником трехфазный асинхронный двигатель мощностью  $P = 5$  кВт, КПД двигателя равен  $\eta_{д} = 90\%$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi_{д} = 0,8$ . Определить фазные и линейные токи двигателя, параметры его схемы замещения  $R_{ф}$ ,  $X_{ф}$ , построить векторную диаграмму. Включить ваттметры для измерения активной мощности и найти их показания.

**Ход работы:**

1. Определить число узлов, ветвей и контуров в электрической цепи.
2. Произвольно расставить направление токов в ветвях.
3. Записать первый закон Кирхгофа для узлов.
4. Произвольно выбрать направление обхода в контурах.
5. Записать второй закон Кирхгофа для контуров.

**Форма представления результата:** выполненная самостоятельная работа



**Раздел 1. Основы механики**  
**Тема 1.1.**  
**Законы равновесия тел. Законы движения**  
**Лабораторная работа № 1**  
Изучение условия равновесия рычага

**Цель:** проверить на опыте, при каком соотношении сил и их плеч рычаг находится в равновесии; проверить на опыте правило моментов.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- определять условия равновесия тел

- находить соотношение сил и плеч, при которых рычаг находится в равновесии

**Материальное обеспечение:** рычаг на штативе, набор грузов, измерительная линейка, динамометр.

**Задание:** Определить условия равновесия рычага.

**Краткие теоретические сведения:**

**Рычаг** – твердое тело, способное вращаться вокруг неподвижной опоры.

**Различают два вида рычагов.** У рычага первого рода точка опоры находится между линиями действия приложенных сил. У рычага второго рода точка опоры расположена по одну сторону от них.

Используя рычаг, мы можем получить выигрыш в силе и поднять неподъемный груз. Расстояние от точки опоры до точки приложения силы называют плечом силы. Причем, **можно рассчитать равновесие сил на рычаге по следующей формуле:**

$$F_1 / F_2 = l_2 / l_1,$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – силы, действующие на рычаг, а  $l_2$  и  $l_1$  – плечи этих сил.

**Закон равновесия рычага:** рычаг находится в равновесии тогда, когда действующие на него силы обратно пропорциональны плечам этих сил.

Этот закон был установлен Архимедом еще в третьем веке до нашей эры. Из него следует, что меньшей силой можно уравновесить большую. Для этого необходимо, чтобы плечо меньшей силы было больше плеча большей силы. А выигрыш в силе, получаемый с помощью рычага, определяется отношением плеч приложенных сил.

**Порядок выполнения работы:**

1. Уравновесить рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он расположился горизонтально.
2. Изменяя массу грузов и размер плеч, проверить закон равновесия рычага.

**Ход работы:**

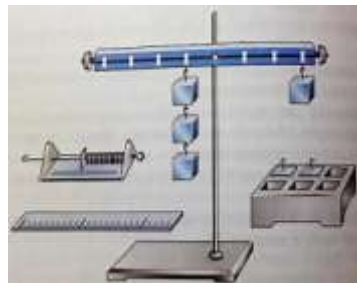
1. Рассмотрите измерительные приборы, находящиеся на столе. Определите цену их деления. Результаты запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Название прибора	цена деления
Линейка	
Динамометр	

2. Уравновесьте с помощью гаек рычаг в горизонтальном положении.

3. Для этого подвесьте два груза на левой части рычага на расстоянии, примерно равном 12 см от оси вращения. Опытным путём установите, на каком расстоянии вправо от оси вращения надо подвесить: а) один груз; б) два груза; в) три груза, чтобы рычаг пришёл в равновесие.



4. Считая, что каждый груз весит 1Н, запишите данные и измеренные величины в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	Сила $F_1$ на левой части рычага, Н	Плеч $l_2$ , см	Сила $F_2$ на правой части рычага, Н	Плеч $l_1$ , см	Отношение сил и плеч	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_1}{l_2}$
1.						
2.						
3.						

5. Вычислите отношение сил и отношение плеч для каждого из опытов и полученные результаты запишите в последний столбик таблицы.

6. Проверьте, подтверждают ли результаты опытов условие равновесия рычага под действием приложенных к нему сил и правило моментов сил.

7. Дополнительное задание.

А) Подвесьте три груза справа от оси вращения рычага на расстоянии 5 см.

С помощью динамометра определите, какую силу нужно приложить на расстоянии 15 см от оси вращения правее грузов, чтобы удерживать рычаг в равновесии. Как направлены в этом случае силы, действующие на рычаг? Запишите длину плеч этих сил. Вычислите отношение сил  $F_1 / F_2$  и плеч  $l_2 / l_1$ , для этого случая и сделайте соответствующий вывод.

- Б) С помощью установки, которую вы использовали в лабораторной работе, измерьте массу какого-нибудь тела. Опишите опыт.

**Форма представления результата**

**Таблица 1**

№ опыта	Сила $F_1$ на левой части рычага, Н	Плечо $l_2$ , см	Сила $F_2$ на правой части рычага, Н	Плечо $l_1$ , см	Отношение сил и плеч	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_1}{l_2}$
1.						
2.						
3.						

**Контрольные вопросы:**

1. Что называют плечом силы?
2. Какую физическую величину называют моментом силы?
1. Каково условие равновесия тела, имеющего закреплённую ось вращения?
2. Что такое рычаг? Какое свойство рычага вы экспериментально выяснили?

**Критерии оценки: см. стр. 103**

## Тема 1.1 Законы равновесия тел. Законы движения

### Лабораторная работа № 2

#### Определение КПД при подъёме тела по наклонной плоскости

**Цель:** экспериментальным путём убедиться, что полезная работа, выполненная с помощью простого механизма (наклонной плоскости), меньше полной.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- определять принцип действия простых механизмов;
- учитывать КПД при использовании простых механизмов.

**Материальное обеспечение:** наклонная плоскость (доска), динамометр, линейка, брусок, штатив с муфтой и лапкой.

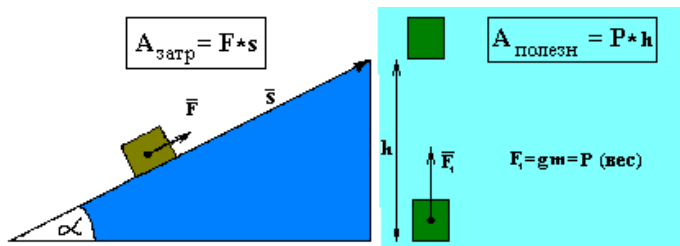
**Задание:**

1 изучить принцип действия простых механизмов

**Порядок выполнения работы:**

1. Собрать установку для проведения экспериментов.
2. Произвести необходимые измерения.
3. Сделать вывод по работе.

**Ход работы:**



1. Определить с помощью динамометра вес бруска.
2. Закрепите доску в лапке штатива в наклонном положении.
3. Положите брусок на доску, прикрепив к нему динамометр.
4. Перемещайте брусок с постоянной скоростью вверх по наклонной доске.
5. Измерьте с помощью линейки путь  $S$ , который проделал брусок, и высоту наклонной плоскости  $h$ .
6. Измерьте силу тяги  $F$ .
7. Вычислите полезную работу по формуле  $A_{\text{п}} = P \cdot h$ , а затраченную – по формуле  $A_3 = F \cdot S$
8. Определите КПД наклонной плоскости:  $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100\%$
9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
- 10.

Таблица 1

h, м	P, Н	A <sub>п</sub> , Дж $A_{II} = Ph$	S, м	F, Н	A <sub>з</sub> , Дж $A_3 = F \cdot S$	$\eta = \frac{A_{II}}{A_3}$

**11. Дополнительное задание:**

1. Используя «золотое правило» механики, рассчитайте, какой выигрыш в силе даёт наклонная плоскость, если не учитывать трение.
2. Измените высоту наклонной плоскости и для неё определите полезную, полную работу и КПД.

**Форма представления результата:**

Таблица 1

h, м	P, Н	A <sub>п</sub> , Дж $A_{II} = Ph$	S, м	F, Н	A <sub>з</sub> , Дж $A_3 = F \cdot S$	$\eta = \frac{A_{II}}{A_3} \cdot 100\%$

**Контрольные вопросы:**

1. Зачем у подъемного крана делают противовес?
2. Какие простые механизмы дают выигрыш в силе?
3. Какие простые механизмы дают выигрыш в работе?
4. Где обычно прикрепляют дверную ручку? Почему не около петель?
5. Зачем используют неподвижный блок, ведь выигрыша в силе он не дает?
6. Какой выигрыш в силе дает подвижный блок? А в работе?
7. Может ли КПД механизма быть равен 120%, 200%, 0%? Почему?
8. Что называют рычагом? Что называют плечом рычага?

**Критерии оценки: см.стр. 103**

**Раздел 2. Основы молекулярно-кинетической теории**  
**Тема 2.1 Агрегатные состояния вещества и фазовые переходы.**  
**Лабораторная работа № 3**

**Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости**

**Цель:** Опытным путем определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- различать жидкости с разным поверхностным натяжением;
- учитывать свойства смачиваемости и несмачиваемости жидкости в быту.

**Материальное обеспечение:** пипетка, бюкса, весы и разновесы, вода, линейка.

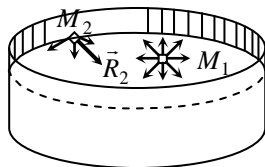
**Задание:**

-изучить факторы, влияющие на поверхностное натяжение жидкости

**Краткие теоретические сведения:**

Поверхностное натяжение жидкости

Рассмотрим жидкость в сосуде и молекулы  $M_1$  и  $M_2$  на её свободной поверхности. Равнодействующее сил, приложенных к  $M_1$  и  $M_2$ , будут соответственно  $\vec{R}_1 = \vec{0}$  и  $\vec{R}_2 \neq \vec{0}$ .

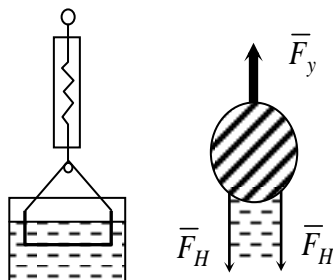


**Сила поверхностного натяжения жидкости ( $\vec{F}_H$ )** – сила, обусловленная взаимодействием молекул жидкости и вызывающая сокращение площади ее поверхности.

Опустим в жидкость планку, подвешенную на крючке динамометра. Медленно опустим сосуд. Максимальное показание динамометра (в момент выхода планки из жидкости) укажет силу поверхностного натяжения жидкости, действующую на планку.

**Коэффициент поверхностного натяжения жидкости ( $\sigma$ )** – отношение модуля силы поверхностного натяжения к длине натяжения.

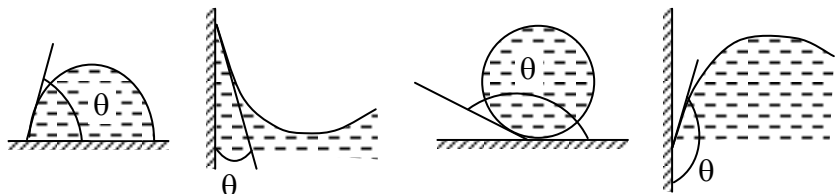
$$\sigma = \frac{F_H}{l} = \text{const} \quad [\sigma] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$



- Под длиной натяжения понимают длину границы жидкости, на которой действует сила поверхностного натяжения.

Если капнуть немного жидкости на твердую поверхность, то можно наблюдать смачивание или несмачивание. Это определяется *краевым углом*.

**Край  
вой  
угол  
( $\theta$ )** –  
угол  
межд  
у



поверхностью тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости в точке касания жидкости с телом.

При  $\theta < 90^0$  – смачивание;  $\theta \geq 90^0$  – несмачивание.

Пример: вода смачивает стекло, ртуть его не смачивает.

### Порядок выполнения работы:

1. Определить массу бюксы ( $m_1$ ).
2. Измерить диаметр отверстия пипетки и определить диаметр шейки капли по формуле:  $d = 0,9 \cdot d_1$ , где  $d_1$  - диаметр отверстия пипетки.
3. Набрать в пипетку воды, отсчитать в бюксу 50 капель.
4. Определить массу бюксы с каплями ( $m_2$ ).
5. Определить массу 50 капель по формуле:  $m_3 = m_2 - m_1$
6. Определить массу одной капли по формуле:  $m_k = \frac{m_1}{50}$
7. Повторить опыт и вновь определить массу капли.
8. Найти среднее значение массы одной капли:

$$m_{\text{ср.}} = \frac{m_{k1} + m_{k2}}{2}$$

9. Вычислить коэффициент поверхностного натяжения по формуле:

$$\sigma = \frac{F_f}{l}$$

$$F_H = m_{\text{к.ср.}} \cdot g$$

где  $l$  - длина границы поверхностного слоя, м;  
 , где  $F_H$  – сила поверхностного натяжения, Н;  
 $m_{\text{к.ср.}}$  - масса одной капли, кг;  
 $d$  - диаметр шейки капли, м;

$$l = \pi \cdot d$$

10. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	$d_1,$ $м$	$d_2,$ $м$	$m_1,$ $кг$	$m_2,$ $кг$	$m_3 = m_2,$ $кг$	$m = \frac{m}{5},$ $кг$	$m_{cp},$ $кг$	$l,$ $м$	$F_H,$ $Н$	$\sigma,$ $\frac{Н}{м}$	$\Delta,$ $\frac{Н}{м}$	$\varepsilon,$ $\%$
1												
2												

11. Сравнить полученный результат с табличным. Вычислить абсолютную ( $\Delta$ ) и относительную ( $\varepsilon$ ) погрешности измерений по формулам:

$$\Delta = |\sigma_{\text{табл}} - \sigma_{\text{получ}}|$$

12. Результаты расчётов занести в таблицу.  
13. Сделать вывод по работе.

**Форма представления результата:**

Таблица 1

№ п/п	$d_1,$ $м$	$d_2,$ $м$	$m_1,$ $кг$	$m_2,$ $кг$	$m_3 = m_2,$ $кг$	$m = \frac{m}{5},$ $кг$	$m_{cp},$ $кг$	$l,$ $м$	$F_H,$ $Н$	$\sigma,$ $\frac{Н}{м}$	$\Delta,$ $\frac{Н}{м}$	$\varepsilon,$ $\%$
1												
2												



### **Контрольные вопросы**

1. Что называют коэффициентом поверхностного натяжения жидкости.
2. От каких величин зависит коэффициент поверхностного натяжения жидкости?
3. Приведите примеры смачиваемости и несмачиваемости жидкости.

**Критерии оценки: см. стр. 103**

**Раздел 4. Электродинамика**  
**Тема 4.3. Законы постоянного тока**  
**Лабораторная работа № 4**

**Смешанное соединение проводников**

**Цель:** научиться собирать и рассчитывать электрические цепи при смешанном (комбинированном) соединении проводников (потребителей).

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- собирать электрические цепи со смешанным соединением потребителей;
- различать виды соединений на каждом участке электрической цепи.

**Материальное обеспечение:** амперметры, вольтметры, соединительные провода, резисторы, источники питания.

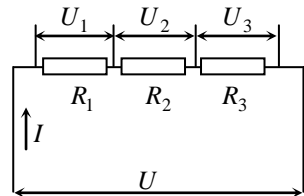
**Задание:**

1. Собрать электрические цепи по схемам смешанного соединения.
2. Рассчитать параметры электрического тока.
3. Проверить соблюдение законов постоянного тока при различных видах соединений.

**Краткие теоретические сведения:**

**Последовательное соединение проводников** – соединение, при котором проводники образуют единую цепь, размыкание которой в любом месте приводит к прекращению тока во всей цепи.

При последовательном соединении проводников:



$$U = U_1 + \dots + U_n$$

$$I = \text{const}$$

$$R = R_1 + \dots + R_n$$

или

$$U = \sum_{i=1}^n U_i$$

$$I = \text{const}$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

**Параллельное соединение проводников** – соединение, при котором начала всех проводников собраны в один узел, концы – в другой, и отключение от электрической цепи любого из этих проводников не приводит к отключению остальных.

При параллельном соединении проводников:

$$U = \text{const}$$

$$I = I_1 + \dots + I_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

или

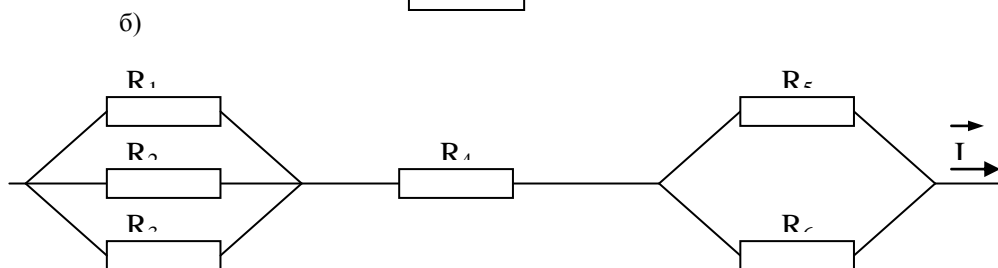
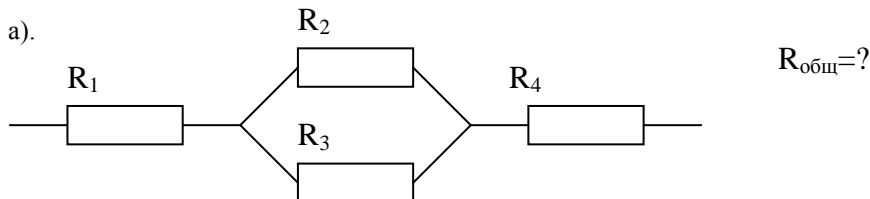
$$U = \text{const}$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

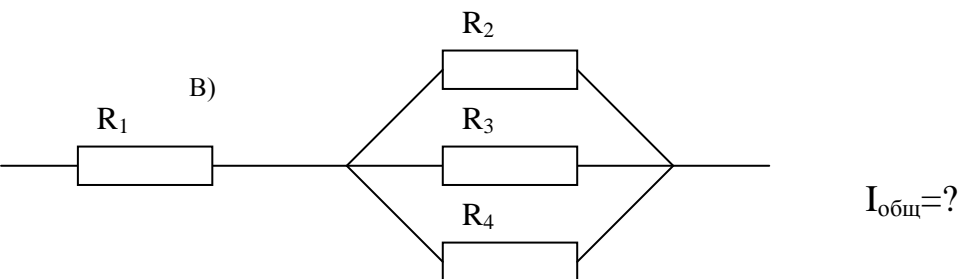
$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

### Порядок выполнения работы

1. Собрать электрические цепи по приведённым ниже схемам.



$R_{\text{общ}} = ?$



2. Схемы соединений начертить (заданную, эквивалентную).

3. Снять необходимые для расчётов параметры (силу тока, напряжение), используя законы параллельного и последовательного соединений.

**Форма представления результата:** отчёт в виде задач.

**Критерии оценки:** см. стр. 103

## Раздел 4. Электродинамика

### Тема 4.6 Переменный ток

#### Лабораторная работа № 5

#### «Изучение явления электромагнитной индукции»

**Цель:** изучить явление электромагнитной индукции

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- наблюдать явление электромагнитной индукции;
- определять параметры, от которых зависит индукционный ток.

**Материальное обеспечение:**

миллиамперметр, катушка-моток, магнит дугообразный, магнит полосовой.

**Задание:**

1. Изучить явление ЭМИ.
2. Определить параметры, от которых зависит индукционный ток.

**Краткие теоретические сведения:**

Опыты Эрстеда показали, что электрический ток создает вокруг себя магнитное поле. Можно предположить, что и поле создаёт ток.

В 1831 г. Фарадей проводил опыты с катушками и магнитами. Один из опытов: в цепь из катушки и гальванометра вводят постоянный магнит. Оказалось, что если магнит:

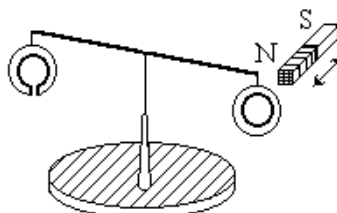
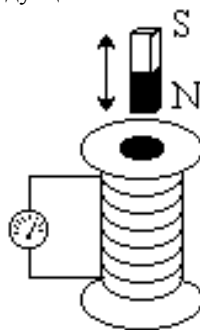
- 1) неподвижен (независимо от того, введён он в катушку или нет), тока в катушке нет;
- 2) движется (входит в катушку или выходит из неё), то в цепи катушки протекает ток.

**Электромагнитная индукция (ЭМИ)** – явление возникновения в замкнутом контуре электрического тока, обусловленное изменением магнитного потока, пронизывающего данный контур.

Ток ЭМИ называют **индукционным** (наведённым). Опыты Фарадея показали, что вместо постоянного магнита можно использовать катушку с током, а вместо движения катушек друг относительно друга можно изменять ток в первичной (создающей поле) катушке. При этом её магнитное поле изменяется и во вторичной (контрольной) катушке наводится ток и, следовательно, ЭДС индукции.

**Правило Ленца**

Поместим на острие подставки коромысло с одинаковыми алюминиевыми кольцами, одно из которых имеет разрез. Опыт показывает, что при введении магнита (любым полюсом) в сплошное



кольцо, оно отталкивается от магнита, а при выведении – притягивается. Кольцо с разрезом на движение магнита не реагирует. Этот опыт подтверждает идею наведения тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока. По взаимодействию поля магнита и индукционного тока в кольце можно определить направление тока.

Ленц обнаружил, что направление индукционного тока в контуре зависит от: 1) направления  $\vec{B}$  поля 2) знака изменения магнитного потока  $\Delta\Phi$  через контур («+» – если  $\Delta\Phi$  возрастает, «-» – убывает).

В 1833 году он сформулировал правило, известное, как **правило Ленца**: индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, имеет такое направление, что создаваемый им магнитный поток сквозь поверхность, охватываемую контуром, стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызывающего данный ток.

**Закон электромагнитной индукции**: ЭДС индукции, возникающая в контуре, равна скорости изменения магнитного потока (через поверхность, ограниченную данным контуром), взятой с обратным знаком.

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- Если катушка содержит  $N$  витков (контуров), то  $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

### **Порядок выполнения работы:**

#### I. Выяснение условий возникновения индукционного тока.

1. Подключите катушку-моток к зажимам миллиамперметра.
2. Наблюдая за показаниями миллиамперметра, отметьте, возникал ли индукционный ток, если:
  - в неподвижную катушку вводить магнит,
  - из неподвижной катушки выводить магнит,
  - магнит разместить внутри катушки, оставляя неподвижным.
3. Выясните, как изменялся магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий катушку в каждом случае. Сделайте вывод о том, при каком условии в катушке возник индукционный ток.

#### II. Изучение направления индукционного тока.

1. О направлении тока в катушке можно судить по тому, в какую сторону от нулевого деления отклоняется стрелка миллиамперметра. Проверьте, одинаковым ли будет направление индукционного тока, если:
  - вводить в катушку и удалять магнит северным полюсом;
  - вводить магнит в катушку магнит северным полюсом и южным полюсом.

2. Выясните, что изменялось в каждом случае. Сделайте вывод о том, от чего зависит направление индукционного тока.

#### III. Изучение величины индукционного тока.

1. Приближайте магнит к неподвижной катушке медленно и с большей скоростью, отмечая, на сколько делений ( $N_1$ ,  $N_2$ ) отклоняется стрелка миллиамперметра.

2. Приближайте магнит к катушке северным полюсом. Отметьте, на сколько делений  $N_1$  отклоняется стрелка миллиамперметра.  
К северному полюсу дугообразного магнита приставьте северный полюс полосового магнита. Выясните, на сколько делений  $N_2$  отклоняется стрелка миллиамперметра при приближении одновременно двух магнитов.
3. Выясните, как изменялся магнитный поток в каждом случае. Сделайте вывод, от чего зависит величина индукционного тока.

**Форма представления результата:** письменный отчет по предложенным вопросам.

**Контрольные вопросы:**

1. В катушку из медного провода сначала быстро, затем медленно вдвигают магнит. Одинаковый ли электрический заряд при этом переносится через сечение провода катушки?
2. Возникнет ли индукционный ток в резиновом кольце при введении в него магнита?

**Критерии оценки:** см. стр. 103

## Раздел 4. Электродинамика

### Тема 4.7 Понятие об устройстве индукционных генераторов, трансформаторов

#### Лабораторная работа № 6

#### Изучение устройства и принципа работы генератора переменного тока

**Цель:** развивать экспериментальные методы познания, формировать умения работать с лабораторными и контрольно-измерительными приборами.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать генераторы переменного и постоянного тока;
- знать принцип работы генератора переменного тока.

**Материальное обеспечение:** модель электродвигателя постоянного тока со статорными катушками, гальванометр, полупроводниковый диод на колодке, соединительные провода, источник тока, ключ, реостат, амперметр.

#### Задание:

1. Изучить строение генератора переменного тока;
2. Изучить принцип строения генератора переменного тока.

#### Краткие теоретические сведения:

**Электромагнитная индукция (ЭМИ)** – явление возникновения в замкнутом контуре электрического тока, обусловленное изменением магнитного потока, пронизывающего данный контур.

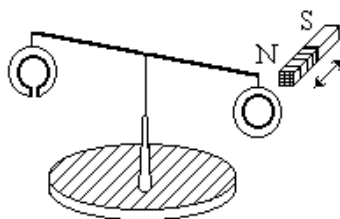
Ток ЭМИ называют **индукционным** (наведённым). Опыты Фарадея показали, что вместо постоянного магнита можно использовать катушку с током, а вместо движения катушек друг относительно друга можно изменять ток в первичной (создающей поле) катушке. При этом её магнитное поле изменяется и во вторичной (контрольной) катушке наводится ток и, следовательно, ЭДС индукции.

Правило Ленца

#### правило

#### Ленца:

индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, имеет такое направление, что создаваемый им магнитный поток сквозь поверхность, охватываемую контуром, стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызывающего данный ток.



#### Порядок выполнения работы:

Рассмотрите устройство модели электродвигателя, укажите основные части, объясните принцип его работы.

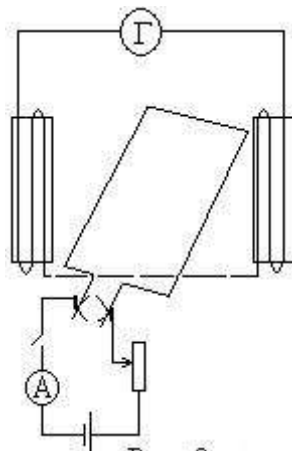


Предложите способ преобразования электродвигателя в генератор переменного тока. Проверьте Ваш способ на опыте.

Исследуйте, влияет ли на первоначальное отклонение стрелки гальванометра, при получении переменного тока, направления вращения якоря генератора.

Исследуйте, как зависит амплитуда переменного тока от частоты вращения якоря и величины тока возбуждения.

Для преобразования электродвигателя постоянного тока в генератор переменного тока необходимо отсоединить провода катушек электромагнита от щеток коллектора. Через щетки коллектора на якорь от источника постоянного тока через реостат подаем ток возбуждения (см.рис.). При вращении якоря его магнитное поле создаваемое током возбуждения будет создавать в катушках электромагнита переменный ток.



Подсоединив к катушкам электромагнита гальванометр, а через контактные щетки коллектора якоря подаем ток возбуждения, величина тока возбуждения не должна превышать 1 А, силу тока возбуждения регулируем реостатом. Начинаем вращать якорь в первом случае по направлению движения часовой стрелке, а другой раз против него. По первоначальному отклонению стрелки гальванометра устанавливаем взаимосвязь между направлением вращения якоря и первоначальным направлением переменного тока.

Исследование зависимости между амплитудой переменного тока и частотой вращения якоря проводится при постоянной величине тока возбуждения. Исследование зависимости между амплитудой переменного тока и величиной тока возбуждения выполняется при постоянной частоте вращения якоря. При выполнении этой части лабораторной работы можно вращать якорь генератора другим электродвигателем. Для этого вал электродвигателя соединяем резиновой муфтой с якорем генератора. Электродвигатель к источнику тока подсоединяется через реостат, для того чтобы можно было регулировать частоту вращения вала электродвигателя.

**Форма представления результата:** письменный отчет по предложенным вопросам.

**Критерии оценки:** см.стр. 103

**Раздел 5. Оптика**  
**Тема 5.1. Основные законы оптики.**  
**Лабораторная работа № 7**

**Определение главного фокусного расстояния собирательной линзы.**

**Цель:** научиться определять главное фокусное расстояние линзы опытным путём

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- различать виды линз;
- определять фокусное расстояние линзы

**Материальное обеспечение:** источник света, собирательная линза, экран, линейка.

**Задание:**

1. Получить на экране различные виды изображений.
2. Применить формулу тонкой линзы для определения фокусного расстояния линзы.

**Краткие теоретические сведения:**

**Линза** – прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

**Тонкая линза** – линза, толщина которой пренебрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны её поверхностей.

**Выпуклая (вогнутая) линза** – линза, толщина которой в середине больше (меньше), чем по краям.

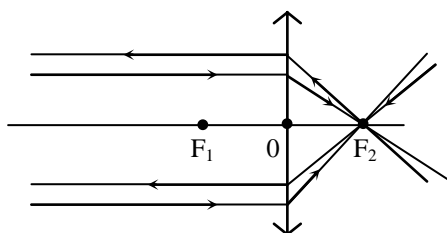
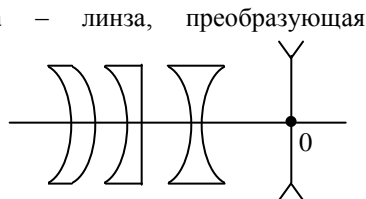
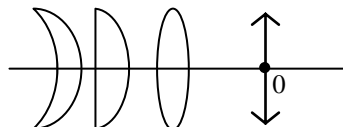
**Собирающая (рассеивающая) линза** – линза, преобразующая параллельные лучи в сходящиеся (расходящиеся).

- Из опытов известно, что выпуклые линзы – собирающие, вогнутые – рассеивающие.

**Главная оптическая ось линзы** – прямая, проходящая через центры кривизны сферических поверхностей линзы.

**Оптический центр линзы** – точка главной оптической оси линзы, равноотстоящая от точек пересечения данной оси со сферическими поверхностями линзы.

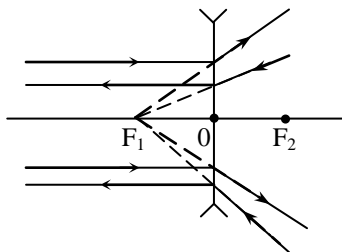
**Главная плоскость линзы** – плоскость, перпендикулярная



главной оптической оси линзы и проходящая через оптический центр линзы.

**Побочная оптическая ось линзы** – линия, проходящая через оптический центр линзы и не совпадающая с главной оптической осью (их бесконечно много).

Пусть на собирающую (рассеивающую) линзу падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси – (см. рис.). Свойства линз таковы, что эти лучи (их продолжения) собираются в некоторой точке F.



**Главный фокус линзы** – расположенная на главной оптической оси точка пересечения преломленных сходящихся (продолжения расходящихся) лучей, полученных вследствие падения на линзу пучка лучей, параллельных главной оптической оси.

**Фокусное расстояние (f)** – расстояние от оптического центра линзы до её фокуса.

**Фокальная плоскость линзы** – плоскость, образованная фокусами линзы (главным и побочными).

Формула тонкой линзы:  $\frac{1}{|a|} \pm \frac{1}{|b|} = \pm \frac{1}{|f|}$ , где **правило знаков**: расстояния

до действительных точек берутся со знаком «+», до мнимых – со знаком «-».

**Оптическая сила линзы (D)** – величина, обратная её фокусному расстоянию.

$$D = \pm \frac{1}{|f|}$$

$$[D] = \frac{1}{\text{м}} = \text{Дптр} - \text{диоптрия.}$$

### Порядок выполнения работы

1. Установить источник света, линзу, экран на одной прямой.
2. Перемещая источник света и линзу, добиться чёткого уменьшенного изображения пламени свечи на экране.
3. Измерить расстояние от линзы до источника света и расстояние от линзы до экрана и по формуле линзы вычислить фокусное расстояние линзы.
4. Плавно передвигая линзу, получить на экране чёткое увеличенное изображение пламени свечи. Измерить расстояние d (от линзы до свечи) и расстояние f (от линзы до экрана) и вычислить фокусное расстояние линзы F.
5. Плавнo передвигая линзу, получить на экране чёткое увеличенное изображение пламени свечи. Измерить расстояния d и f ,Вычислить фокусное расстояние линзы F.

6. Вычислить среднее значение фокусного расстояния и определить оптическую силу линзы по формуле:

7. Вычислить оптическую силу линзы по формуле:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ ;

$$D = \frac{1}{F_{cp}}$$

8. Результаты изменений и вычислений занести в таблицу:

Таблица

№	Изображение	Расстояние до линзы до свечки d, м	Расстояние до экрана f, м	Главное фокусное расстояние F, м	Среднее значение гл. фокусного расстояния, F <sub>ср</sub> , м	Истинное значение оптической силы линзы D <sub>ист.</sub> , дптр.	Оптическая сила линзы D, дптр.	Погрешность	
								Абсолютная D, дптр.	Относительная
1	Уменьшенное								
2	Увеличенное								
3	Равное								

8. Сравнить полученный результат с истинным.

9. Вычислить абсолютную и относительную погрешность измерений по

формулам:  $\Delta = |D - D_{ист.}|$   $\varepsilon = \frac{\Delta}{D_{ист.}} \cdot 100\%$ .

10. Сделать вывод по работе.

**Форма представления результата:**

№	Изоб- ра- же- ни- е	Расст- яние линзы до свечи d, м	Расст- я-ни- е от линзы до экра f, м	Главное фокусное расстоя- ние, F, м	Средне- е значе- ние гл. фо- с- ного рас- стоян- ия, F <sub>ср</sub> , м	Истинное значение оптичес- кой силы линзы D <sub>ист.</sub> , дптр.	Оптичес- кая сил- а линзы D, дптр.	Погрешность	
								Абсо- лю- тная D, дптр.	Отно- си- тель- ная
1	Умень- шен- ное								
2	Увели- чен- ное								
3	Равно- е								

Критерии оценки: см.стр. 103

**Раздел 6. Физика атома и атомного ядра.**  
**Тема 6.1. Развитие представлений о природе атома**  
**Лабораторная работа № 8**

**Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям**

**Цель:** объяснить траекторию и характер движения заряженных частиц.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь: объяснять траекторию движения заряженных частиц

**Материальное обеспечение:** фотографии треков заряженных частиц.

**Задание:**

1. Изучить траектории заряженных частиц.
2. Проанализировать характер движения частиц и их характеристики.

**Краткие теоретические сведения:**

1. Треки заряженных частиц в камере Вильсона представляют собой цепочки микроскопических капелек жидкости (воды или спирта), образовавшихся вследствие конденсации пересыщенного пара этой жидкости на ионах, расположенных вдоль траектории заряженной частицы; в пузырьковой камере – цепочки микроскопических пузырьков пара перегретой жидкости, образовавшихся на ионах. Треки показывают траекторию движения заряженных частиц.
2. Длина трека зависит от начальной энергии заряженной частицы и плотности окружающей среды: она тем больше, чем больше энергия частицы и чем меньше плотность среды.
3. Толщина трека зависит от заряда и скорости частицы: она тем больше, чем больше заряд частицы и чем меньше её скорость.
4. При движении заряженной частицы в магнитном поле трек её получается искривленным. Радиус кривизны трека зависит от массы, заряда, скорости частицы и модуля индукции магнитного поля: он тем больше, чем больше масса и скорость частицы и чем меньше её заряд и модуль индукции магнитного поля.
5. По изменению радиуса кривизны трека можно определить направление движения частицы и изменение её скорости: начало её движения и скорость больше тем, где больше радиус кривизны трека.

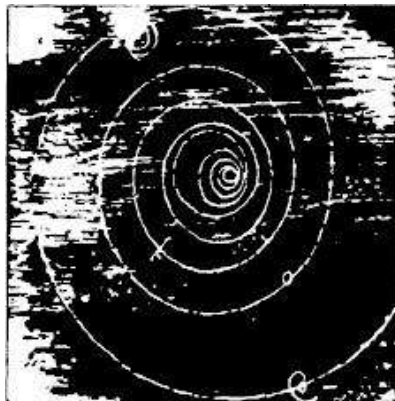


**Порядок выполнения работы:**

1. Проведите анализ треков заряженных частиц по фотографии №1, отвечая на

следующие вопросы:

- В каком направлении двигались альфа-частицы?
- Почему длина треков альфа-частиц примерно одинаково?
  - Почему толщина треков альфа-частиц к концу пробега немного увеличивается?



- Почему некоторые альфа-частицы оставляют треки только в конце своего пробега?

2. Проведите анализ треков заряженных частиц по фотографии №2, отвечая на следующие вопросы:

- Почему трек электрона имеет форму спирали?
- В каком направлении двигался электрон?
- Как был направлен вектор магнитной индукции?

3. Проведите анализ треков заряженных частиц по фотографии №3, отвечая на следующие вопросы:

- Почему треки ядер атомов имеют разную толщину?
- Какой трек принадлежит ядру атома магния, кальция и железа?
- Какой вывод можно сделать из сравнения толщины треков ядер атомов различных элементов?



4. Чем отличаются треки частиц, полученные в фотоэмульсии, от треков частиц в камере Вильсона и пузырьковой камере?

**Форма представления результата:** письменный отчет по предложенным вопросам.

**Критерии оценки:** см. стр.103

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Оценка **«отлично»** ставится, если студент:

- а) выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;
- б) в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицу, вычисления и сделал выводы;
- в) правильно выполнил анализ погрешностей;
- г) соблюдал требования безопасности труда;
- д) ответил на контрольные вопросы (устно или письменно).

Оценка **«хорошо»** ставится в том случае, если выполнены требования к оценке «отлично», но:

- а) опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерений;
- б) допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета;
- в) ответил на контрольные вопросы (устно или письменно).

Оценка **«удовлетворительно»** ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки:

- а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью;
- б) или в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, таблицах, анализе погрешностей и т.д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения;
- в) или не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей;
- г) или работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы;
- д) частично ответил на контрольные вопросы (устно или письменно).

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится в том случае, если:

- а) работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;
- б) или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно;
- в) не ответил на контрольные вопросы.