МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
им. акад. У. АСАНАЛИЕВА

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

# ФИЗИКА
# ЧАСТЬ II

# ЭЛЕКТИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ, МЕХАНИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ
ЗАДАНИЕ №2
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДИСТАНТНОГО ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ:
540401,550601.05;551801.01;551301.01;550601.04;550601.04;550601.02;
550601.03;553201.02;553201.03;553202.01;550501.02;553201.02;550601.05;
552301.01;552301.01;550601.07

БИШКЕК – 2011

«Рассмотрено» на заседании кафедры «Техническая физика»

Протокол № 9 от 26.05.2011 г.

Рецензент к.ф.-м.н., доцент Усенканов Дж.О.

Составители: к.т.н., доцент БАЙБОСУНОВ М.Б.,
преп. ОСКОМБАЕВА З.А.

Физика. Часть II. Электростатика, электричество и магнетизм, механические, электромагнитные колебания и волны. Волновая оптика / КГТУ им. И.Раззакова; сост.: М.Б.Байбосунов, З.А.Оскомбаева. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 47 с.

Руководство составлено в соответствии с программой Госстандарт МО и Н КР. В ней даются рабочая программа, методические указания и контрольное задание №2 для студентов дистантного обучения по направлениям: ОГР, ГЭМ, ЭГП, ШПС, Р, МД, ОПИ, ГГ, ГН, ГФ, М, ТТР, и список необходимой литературы.

Тех. редактор ***Субанбердиева Н.Е.***

Подписано к печати 29.06.2011 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Бумага офс. Печать офс. Объем 3 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 267. Цена 42 с.

Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ “Текник” КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

## Предисловие

Знание законов физики предполагает умение не только формулировать эти законы, но и применять их в конкретных случаях при решении задач.

В некоторых случаях необходимо знание специальных методов, примеров, общих для решения определенных групп задач. Кроме знания теории, становится способность аналитического мышления ,т.е умение рассуждать.

Предполагается, что работая  с данными методическим руководством, читатель будет пользоваться учебным пособием по курсу II части общей физики, а также задачником в которых он найдет нужный теоретический и справочный материалы. Поэтому в начале каждого главы помещен лишь краткий перечень формул и законов, связанных с решением задач, приведенных в данной главе. Эти формулы позволяют читателю, приступающему к работе над данным разделам, судить об объёме теоретического материала, необходимого для решения рассматриваемых задач. В методических указаниях обсуждаются особенности задач данной темы, даются общие методы, приемы и решения.

При решении задач следует пользоваться Международной системой единиц (СИ).

При выполнении контрольных работ студенту необходимо соблюдать следующие правила:

1. Контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради.
2. На титульном листе указывают номер контрольной  работы, группу инициалы и шифр студента. Последняя цифра шрифта студента является вариантом контрольной работы.
3. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяют по таблице вариантов.
4. Контрольные работы выполняются только по условиям задач данного методического указания.
5. Условие задач в контрольной работе надо переписать полностью без сокращений.
6. В конце контрольной работы указывают литературу.
7. Зачетные контрольные работы предъявляют экзаменатору.

# I. Электричество и магнетизм
## 1.1 Электростатика

В этом разделе, прежде всего, должно быть разъяснено понятие поля. Как и в других разделах, следует подчеркнуть роль законов сохранения. Должна быть подчеркнута связь между теоремой Гаусса и законом Кулона. Для обеспечения должной связи с курсом электротехники и другими техническими дисциплинами в качестве основной должна быть принято  Международная система единиц (СИ).

Для решения задач в СИ коэффициент пропорциональности в законе Кулона не равен единице, его записывают в виде $k_0 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}$ где $\varepsilon_0$ и $\varepsilon$ должны быть объяснены студентом четко.

### Вопросы для закрепление пройденного

**1.** Что такое электрический заряд?
**2.** Какой заряд называют элементарным?
**3.** Когда тело является электрически нейтральным? Когда заряженным?
**4.** Как записывают общем виде закон Кулона для взаимодействия зарядов в веществе?
**5.** Что такое электрическое поле?
**6.** Что называют напряженностью электрического поля? Индукцией электрического поля?
**7.** Приведите примеры графического изображения электрических полей
**8.** Что называют Конденсатором? Для чего конденсатор служит?
**9.** Нарисуйте схемы последовательного и параллельного соединений конденсаторов в батареи?
**10.** Напишите энергии электрического поля? Объемную плотность энергии электростатического поля, приходящаяся на единицу объема. Или с учетом $\mathcal{D} = \varepsilon_0\varepsilon E: \omega = \frac{1}{2}E\mathcal{D}$.

## 1.2 Постоянный электрический ток

Следует обратить особое внимание на различие полей в статическом случае и при наличии тока в проводнике (не эквипотенциальность поверхности проводника). Необходимо дать четкое разграничение понятий: разность потенциалов, электродвижущая сила и напряжение. При изложении электропроводности газов необходимо подчеркнуть существующие здесь отклонения от закона Ома и качественно объяснить причины этих отклонений.

### Вопросы для закрепление пройденного

1. Что называется постоянным электрическим током?
2. Что служит количественной мерой электрического тока?

3. Единицей силы тока является?
4. Что необходимо чтобы в проводнике мог существовать постоянный ток?
5. Как записывают и формулируют закон Ома однородного участка цепи постоянного тока?
6. Как читается закон Ома для замкнутой цепи?
7. Нарисуйте схемы включения измерительных приборов в последовательно соединенную цепь для изучения ее свойств.
8. Что называют узлом цепи? Ветвью цепи? Неразветвленным контуром (ответ иллюстрируйте рисунком)
9. Сформулируйте и запишите первый и второй законы Кирхгофа
10. Напишите формулы для подсчета мощности постоянного тока и единицы измерения?

## 1.3 Электромагнетизм

При изложении электромагнетизма следует помнить, что Международная система единиц (СИ) является здесь основной. Исходным положением электромагнетизма на основании этой системы должна явиться магнитное взаимодействие токов, следовательно, вначале вводится понятие магнитной индукции, а не напряженности поля, которая должна рассматриваться значительно позднее при изучении магнитный свойств веществ.

Всякий электрический ток создает магнитное поле. Интенсивность магнитного поля в данной точке характеризуется вектором магнитной индукции $\vec{B}$. Величина и направление этого вектора определяется законом Био-Савара-Лапласа. Единица магнитной индукции 1В с/м = 1Вб/$м^2$= 1Тл. Магнитная индукция бесконечного прямого тока (с показом рис и формулу), магнитная индукция в центре кругового (кольцевого) тока (с показом рис и формулу) магнитная индукция на оси длинного прямого соленоида вдали от его концов и тороида на его оси (рис и формулы) магнитный поток работа электромагнитных сил.

## Контрольные вопросы

1. Что называют магнитным полем, чем она создается и на что действует?
2. По какой формуле определяется модуль вектора магнитной индукции по закону Био-Савара-Лапласа?
3. Что называют магнитной постоянной? Какова ее значение? Что называют абсолютной магнитной проницаемостью вещества?
4. Что называют магнитным потоком (ответ иллюстрируйте рисунком)? Скалярной или векторной величиной является магнитный поток?
5. Установите единицу магнитного потока в СИ и сформулируйте определение этой единицы.
6. Каков характер действия сила Лоренца? Чему равно работа, совершаемая этой силой?

### 1.4 Явление электромагнитной индукции

Возникновение индукционного тока электродвижущая сила индукции. Законы Фарадея и Ленца. Вывод Э.Д.С индукции из закона сохранения энергии. Самоиндукция и взаимоиндукция. Индуктивность энергия магнитного поля. Вихревые токи. Практическое применение электромагнитной индукции. Уравнение Максвелла для ЭМП в интегральной и дифференциальной формах.

**Вопросы для закрепление пройденного**

1. Каким образом возникает Э.Д.С индукции? От чего зависит ее значение?
2. Установите единицу магнитного потока в СИ из основного закона электромагнитной индукции и сформулируйте определение этой единицы.
3. Сформулируйте правило Ленца
4. Поясните явление самоиндукции. От каких величин зависит Э.Д.С самоиндукции.
5. Что называют индуктивностью проводника. От чего зависит индуктивность контура?
6. Что называют трансформатором? На каком явлении основан принцип его действия?
7. Опишите устройство трансформатора начертите схему его включения в цепь.
8. Что называется коэффициентом трансформатора?
9. Записать уравнение Максвелла в интегральной форме.
10. Записать уравнение Максвелла в дифференциальной форме.

### 1.5 Колебания и волны
### 1.5.1 Механика колебаний и волны

Гармонические колебания, период, частота, скорость и ускорение гармонического колебания, энергия гармонического колебательного движения. При гармонических колебаниях пружинного маятника, превращения потенциальной энергии упруго деформированного тела $E_п = \frac{kx^2}{2}$в его кинетическую энергию $E_k = \frac{mv^2}{2}$где k-жесткость пружины, m-масса маятника, v- скорость, x- абсолютное значение смещения маятника из положения равновесия. Математический физический маятники. Затухающие колебания, вынужденные колебания. Механические (упругие) волны. Уравнение плоской волны, волновое число, волновое уравнение.

### 1.5.2 Электромагнитные колебания и волны

Колебательный контур, свободные электромагнитные колебания. Процесс превращения энергии в колебательном контуре без активного сопротивления (идеальный контур Томпсона) при свободных ЭМК. Вся энергия W колебательного контура заключена в его электрическом поле $W = W_э = \frac{1}{2}CU_m^2$. К моменту $t = \frac{1}{4}T$ к этому времени ток i в контуре и магнитная индукция $\vec{B}$ магнитного поля этого тока достигают максимальных значений. Следовательно вся энергия контура заключены в этот момент в его магнитном поле т.е. $W = W_m = \frac{1}{2}LJ_m^2$. К моменту времени $t - \frac{1}{2}T$ ток в контуре прекращается, следовательно, исчезнет магнитное поле ($\vec{B} = 0$) напряженность электрического поля$\vec{E}$ и напряжение $U$ конденсатора максимальны. Вся энергия колебательного контура заключена в его электрическом поле т.е. $W = W_э = \frac{1}{2}CU_m^2$. К моменту $t = \frac{3}{4}T$ конденсатор полностью разрядится напряжение $U$ падает до нуля ($\vec{E} = 0$). Ток в контуре и $\vec{B}$ в этот момент максимальны. Вся энергия электрическая превращается в энергию магнитного поля т.е $W - W_m - \frac{1}{2}LJ_m^2$.

К моменту $t = T$ ток в контуре прекращается, исчезает магнитное поле, а $\vec{E}$ электрического поля конденсатора и напряжение $U$ на нем максимально.

Следовательно, вся энергия колебательного контура заключена теперь в его электрическим поле т.е $W = W_э = \frac{1}{2}CU_m^2$. Таким образом завершилось полное колебания. В дальнейшем процесс повторяется в уже описанном порядке.

Уравнение свободных ЭМК в контуре $W - W_э + W_m - \frac{q2}{2c} + \frac{LJ^2}{2}$ где с – емкость конденсатора, L – индуктивность катушки, q и j- мгновенные значения заряда конденсатора и тока в контуре. Период свободных ЭМК $T = 2\pi\sqrt{LC}$ – формула Томпсона. Период затухающего ЭМК $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{I}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$.

Понятие об электромагнитных волнах. Вибратор Герца. Дифференциальное уравнение ЭМВ. Основные свойства ЭМВ. Энергия ЭМВ поток энергии Вектор Умова-Пойнтинга. Излучение диполя. Шкала ЭМВ, радиосвязь, радиовещание, телевидение.

## Методические указания

При изучении ЭМК и ЭМВ нужно воспользоваться опытом изучения механических колебаний и волн, поскольку математическое описание их одинаковое. Теория ЭМВ с помощью уравнений Максвелла позволит установить основные свойства ЭМВ, которые подтверждается экспериментально.

## Контрольные вопросы

1. Опишите процессы, происходящие при свободных ЭМК в контуре. Найдите период этих колебаний.
2. Какой вид имеют уравнения гармонических и затухающих колебаний для

заряда.
3. Что такое логарифмический декремент затухания, и как он связан с периодом колебаний?
4. Что такое электрический резонанс?
5. Объясните, как происходит излучение ЭМВ.
6. Какие свойства ЭМВ вам известны?
7. Что называют модуляцией? Какие виды модуляции существуют?
8. Что называют детектированием?
9. Начертите схему детекторного приемника и опишите его устройство и действие.
10. Графически изобразите сущность процесса детектирования.

## 1.6 Волновая оптика

Интерференция света. Видимый свет – это ЭМВ, лежащие в диапазоне длин волн от $\lambda_к = 7900 A^o = 780\ нм = 0{,}78 мкм$ (Красный свет)

$\lambda_к = 4000\ A^o = 400\ нм = 0{,}4 мкм$ (фиолетовый свет). Необходимое условие интерференции – когерентность волн. Условие максимумов и минимум расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Интерференция света в тонких пленках, кольца Ньютона, метод бипризма Френеля, интерферометры – измерительных и контролирующих устройств.

## 1.7 Дифракция света. Принцип Гюйгенса – Френеля

Метод зон Френеля, дифракция Френеля на круглом отверстии и диске, дифракционная решетка, дифракция рентгеновских лучей. Понятие о голографии. Поляризация света, способы поляризации света. Закон Малюса. Закон Брюстера. Дисперсия нормальная и аномальная дисперсия света, электронная теория дисперсии.

## Методические указания

Нужно показать, что интерференция возникает только в случае наложения когерентных волн, и объяснить, почему в интерференционной картине происходит чередование максимумов и минимумов. В качестве примера интерференции света рассматриваются интерференция света на тонких пленках и кольца Ньютона.

В качестве практического приложения явления интерференции рассматриваются интерферометры. При рассмотрении дифракции света следует отметить различие теоретических подходов для установления условий возникновения максимумов и минимумов дифракции и интерференции. Современным важнейшим применением интерференции и дифракции света является голография.

## Контрольные вопросы

1. Какими способами получают когерентные световые волны?
2. В чем состоит интерференции света?
3. Что называется дифракцией света?
4. Какой свет называют естественным или неполяризованным?
5. Какой свет называется полностью поляризованным
6. В чем суть закона Малюса? Как его записывают?
7. По какой формуле определяется радиус первой зоны Френеля?
8. Какое явление называется дисперсией света и на какие виды оно делятся?
9. Как формулируется закон Брюстера?

# II. Электричество и магнетизм

## (Основные законы )
## 2.1 Электростатика

1.Электростатикой называется раздел электродинамики в котором рассматриваются свойства и взаимодействия неподвижных в инерциальной системе отсчета электрически заряженных тел или частиц, обладающих электрическим зарядом.

2. Раздел физики, в котором изучаются электромагнитные взаимодействия, называется электродинамикой.

3. Сила взаимодействия точечных зарядов был установлен экспериментально в 1785 г. французским физиком и военным инженером Кулоном. Одноименные точечные заряды отталкиваются а разноименные – притягиваются силой

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}.$$

Здесь $q_1$и $q_2$ – взаимодействующие заряды, Кл; r – расстояние между ними, м;

$$\varepsilon_0 = 0{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м} \left( \frac{Кл^2}{км^2} \right)$$

Электрическая постоянная; $\varepsilon$ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды (для вакуума $\varepsilon = 1$). Сила F при этом выражается в Ньютонах и направлена по прямой, соединяющей заряды.

4. Напряженность электрического поля E численно равна силе, действующей на единичный заряд, помещенный в поле. Таким образом, точечный заряд q, создает в точке удаленной от q, на расстояния rполе напряженностью

$$E = \frac{F}{q_2} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}.$$

Под точеными зарядами понимают заряженные тела, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними единица измерения напряженности электрического поля – Ньютон на Кулон или $\varepsilon$ что то же самое, вольт на метр$\left(\frac{В}{М}\right)$.

Объемная плотность заряда (заряд единицы объема тела) $\gamma = \frac{q}{V}$.

Поверхностная плотность заряда (заряд единицы поверхности тела) $\sigma = \frac{q}{s}$.

Напряженность поля бесконечной равномерно заряженной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$.

Напряженность поля между двумя разноименно заряженными бесконечными плоскостями $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$.

Последние два выражения не зависят от расстояния, что характеризует однородное поле. Напряженность поля шара с зарядом qв точке вне шара, удаленной на расстоянии r от центра шара,

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

т.е. равна напряженности поля точечного заряда q расположенного в центре шара.

5. Потенциал электростатического поля. Энергетической характеристикой электрического поля является его потенциал. Потенциалом поля в данной точке называется скалярная величина (имеющее только числовое значение), численно равная потенциальной энергии (энергии взаимодействия или энергию взаимного расположения).$\Pi$единичного положительного заряда, помещенного в эту точку: $\varphi = \frac{\Pi}{q}$ откуда $\Pi = q\varphi$.

6. Работа по перемещению заряда q из точки 1 в точку 2 равна $A - \Pi_1 - \Pi_2 - q(\varphi_1 - \varphi_2)$ откуда $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$ единица потенциала в системе СИ вольт (В).$[\varphi_1 - \varphi_2] = \left[\frac{A}{q}\right] = \left(\frac{Дж}{Кл}\right) = (В)$. Заряд электрона (элементарный заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19} Кл$) при движении её между точками поля с разностью потенциалов в 1В, тогда $1эв = 1{,}6 \cdot 10^{\ 19} Кл \cdot 1В \approx 1{,}6 \cdot 10^{\ 19} Дж.$

7. Связь между напряженностью и потенциалом электрического поля.

Две характеристики электростатического поля силовая $(\vec{E})$ и энергетическая $(\varphi)$ связаны между собой формулой $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell}$, где $\Delta\vec{\ell}$ - вектор с модулем $\Delta\ell$, направленный вдоль силовой линии. Знак минус показывает, что вектор напряженности поля всегда направлен в сторону убывания потенциала. Связь $\vec{E}$ и $\varphi$ выражается иначе формулой $\vec{E} = -grad\varphi$. Если электростатическое поле является однородным, т.е. во всех его точках $E = const$ (например, поле между пластиками плоского конденсатора, расстояние между которыми равно $d$ и разность потенциалов пластин $\varphi_1 - \varphi_2 = U$), то формула принимает вид

$$E = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}.$$

8.Разность потенциалов между равномерно и разноименно заряженными бесконечными параллельными плоскостями

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0 \varepsilon}$$

9. Потенциал электростатического поля точечного заряда q в точке, удаленной на расстоянии r от заряда (при условии, что $\varphi \to 0$ при $r \to \infty$),

$$\varphi = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r}$$

10. потенциал электростатического поля Шара с радиусом R и зарядом q, равномерно распределенным по его поверхности, совпадает вне шара с потенциалом поля точечного заряда q, помещенного в центре шара (при условии, что $\varphi \to 0$ при $r \to \infty$). Внутри шара имеется постоянный потенциал поля, равной $\varphi = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R}$.

## 2.2 Электроемкость

Если сообщить проводнику заряд q, то при этом будет произведена работа против кулоновских сил отталкивания (предыдущие порции заряда будет отталкивать последующие) и проводник приобретает потенциал $\varphi$, пропорциональный сообщенному заряду:

$$q = C\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = CU.$$

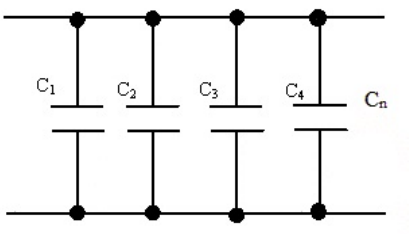



рис.1.1а

Коэффициент Сназывается электроемкостью проводника. Единица электроемкости называется фарадей(Ф). Фарада – емкость такого проводника, потенциал которого возрастает на 1 вольт при сообщении ему заряд в 1 кулон. Емкость плоского конденсатора (рис.1.1а)

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь пластины; d–расстояние между пластинами. Емкость сферического конденсатора

$$C = \frac{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 Rr}{R - r},$$

где R и r – радиусы внешней и внутренней сфер. Емкость шара радиуса r $C - 4\pi \varepsilon \varepsilon_0 r$.

При параллельном соединении и конденсаторов (рис.1.1а) их емкости складываются: $C = C1 + C2 + C3 + \ldots + Cn$

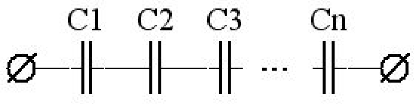



рис 1.1б

При последовательном соединении конденсаторов (рис.1.1б) складываются

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \cdots \frac{1}{Cn}$$

Энергия заряженного проводника емкостью С
(заряженного конденсатора)

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qu}{2} = \frac{q^2}{2c}$$

Взаимная энергия двух точечных зарядов $q_1$ и $q_2$

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{12}}$$

## 2.3 Электрический диполь

Электрическим диполем называется система из двух разноименных точечных зарядов $q$, равных по величине и находящихся на расстоянии $\ell$ друг от друга. Диполь характеризуется векторной, называемой электрическим моментом диполя $\vec{p} = q\vec{l}$ причем положительным направлением (рис. 1.1в).

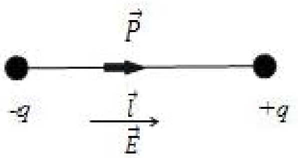



Рис. 1.1в

Вектора $\vec{P}$ считается направление от отрицательного к положительному заряду.

## Примеры решения задач

1.1. Два одинаковых проводящих шарика с зарядами $+q_1$ и $-q_2$ вследствие притяжения соприкоснулись и вновь разошлись на расстояние *r*. Определить заряд каждого шарика после соприкосновения и силу взаимодействия между ними. Заряд каждого шарика после соприкосновения равен $q = \frac{q_1 + (-q_2)}{2} = \frac{q_1 - q_2}{2}$. По закону Кулона сила взаимодействия между шариками $F = \frac{1}{16\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{(q_1 - q_2)^2}{r^2}$.

1.2. Электрон вращается по круговой орбите радиуса r вокруг с зарядом z e. Каковы скорость и период вращения электрона? Роль центростремительной силы в данном случае играет кулоновская сила взаимодействия

$F_{кл} = F_{ц}$; $\frac{e \cdot Ze}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r}$ где m – масса электрона. Отсюда $v^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 rm}$ Период вращения $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{e}\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 rm}{Z}}$

1.3. Найти силу F, действующую на заряд $q = 2{,}3 \cdot 10^{-10}$кл.

а) Напряженность электрического поля заряженной нити $E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$, следовательно на заряд q действует электростатическая сила $F = E \cdot Q = \frac{\tau q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = 20{,}1\text{мкН}$

б) Аналогично для заряженной плоскости $F = \frac{\tau q}{2\varepsilon\varepsilon_0} = 126\text{мкН}$

в) Напряженность электрического поля заряженного шара $E = \frac{q_ш}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$, заряд шара $q = \sigma s = \sigma 4\pi R^2$. Тогда $E = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$, а сила действующая на заряд и $F = \frac{q\sigma R^2}{\varepsilon\varepsilon_0 (r+R)^2} = 63\text{мкН}$.

1.4. На пластинках плоского Конденсатора находится заряд $q = 10$ нКл. Площадь каждой пластины конденсатора $100$ см$^2$; диэлектрик – воздух. Определить силу, с которой притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным.

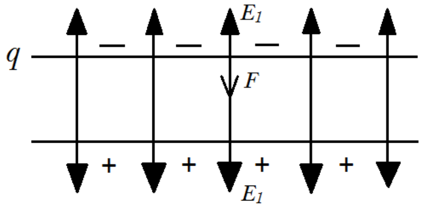



рис.1.2

Решение. Заряд q одной пластины находится в поле, созданным зарядом другой пластины конденсатора следовательно, на первый заряд действует сила (рис.1.2)

$F = E_1 \cdot q$(1)

где $E_1$ – напряженность поля, создаваемого зарядом одной пластины. Но

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{q}{2\varepsilon_0 S}, \qquad (2)$$

где σ- поверхностная плотность заряда пластины.

Формула (1) с учетом выражения (2) примет вид $F = \frac{q^2}{2\varepsilon_0 S}$ (3)

Подставив числовые значения величины в формулу (3) получим

$$F = \frac{10^{-16}\text{кл}^2}{2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\frac{\text{кл}^2}{\text{нм}^2} \cdot 10^{-2}\text{м}^2} = 5{,}65 \cdot 10^{-4}\text{Н}$$

1.5. Положительные заряды

$q_1 = 3$ мк Кл $= 3 \cdot 10^{-6}$Кл и $q_2 = 20$ нКл $= 20 \cdot 10^{-9}$Кл находятся в вакууме на расстоянии 1,5 м друг от друга. Определить работу, которую надо совершить, чтобы сблизить заряды $q_0$расстоянию 1м.

Решение. Можно положить, что первый заряд $q_1$, остается неподвижным, а второй $q_2$ под действием внешних сил перемещается в поле, созданном зарядом q1, приближаясь к нему с расстояния $r_1 = 1{,}5$м до $r_2 = 1$м. работа внешней силы по перемещению заряда q из одной точки с потенциалом $\varphi_1$в другую, потенциал которой $\varphi_2$ равна $A^` - q(\varphi_2 - \varphi_1)$ (1) потенциалы точек начала и конца пути выродятся формулами:

$\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r}$ (2) $\varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$ (3)Подставляя выражения $\varphi_1$и $\varphi_2$ в формулу (1) и учитывая что для данного случая переносный заряд $q = q_2$ получим $A^` = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$. (4) если учесть, что $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{нм^2}{кл^2}\left(\frac{м}{ф}\right)$ то после подстановки числовых значений в выражение (4) получим.

$$A^` = 9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-8}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{1{,}5}\right)Дж = 1{,}80 \cdot 10^{-4}дж = 180\ мкДж$$

1.6. Два шарика с зарядами $q_1 =$ 6,66нКл $= 6{,}66 \cdot 10^{-9}$Кл и $q_2 = 13{,}33 \cdot 10^{-9}$ Кл находятся на расстоянии $r_1 = 40см = 0{,}4м$. Каждую работу А надо совершить, чтобы сблизить их до расстоянии $r_2 = 25см = 25 \cdot 10^{-2}м.$

Решение: Энергия электростатического взаимодействия шариков $W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$. Для сближения шариков нужно совершить работу $A - \Delta W - W_2 - W_1$. Поскольку

$$W_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_1}, а\ W_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_2}, то\ A = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_1}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) = 1.2 \cdot 10^{-6}Дж = 1{,}2мкДж.$$

1.7. Плоский конденсатор с расстоянием между пластинами $d = 1см = 1 \cdot 10^{-2}м$ заряжен до разности потенциалов $U = 1кв = 1 \cdot 10^3$ В. Определить объемную плотность энергии поля конденсатора. Диэлектрик стекло $\varepsilon = 7$.

Решение. Объемная плотность $\omega$ энергии поля конденсатора есть энергия, заключенная в единице объема поля, поэтому может определена по формуле

$$w = \frac{W}{V} \qquad (1)$$

где W – энергия поля конденсатора, V – объем, занимаемый полем, т. е объем пространства, заключенного между пластинами конденсатора. Энергия поля конденсатора определяется по формуле

$$W = \frac{CU^2}{2} \qquad (2)$$

где U – разность потенциалов, до которой заряжены пластины конденсатора,

C – его емкость. Но

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \quad V = Sd \qquad (3)$$

Подставив выражение C в формулу (2) и затем выражения W и V в формулу (1), получим

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U^2}{2d^2}, \qquad (4)$$

Подставив числовые значения в выражение (4) и произведем вычисления:

$$w = \frac{7 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{6}}{2 \cdot 10^{-4}} Дж/м^3 = 0{,}309 Дж/м^3$$

## III. Постоянный электрический ток

1. Электродвижущая сила (Э.Д.С). Для поддержания тока в проводнике на имеющейся в нем свободные заряды должно действовать электрическое поле, создаваемое неэлектрическими сторонними силами. Это поле поддерживает на концах проводника некоторую разность потенциалов. К числу источников сторонних сил относятся химические (элементы, аккумуляторы) электромагнитные (обычные электромагнитные генераторы, тепловые генераторы) световые (фотоэлементы) и др. Все они преобразуют различные формы энергии в электрическую. Электродвижущая сила $\varepsilon$ – измеряется работой сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда внутри источника тока. Единицей электродвижущей силы служит вольт (В).
2. Сила тока J – измеряется величиной заряда q, проходящего в единицу времени через поперечное сечение проводника: $I = \frac{q}{t}$; $q = Jt$. Сила тока – скалярная величина. Единица силы тока – ампер (А). При силе тока, равной 1А, через поперечное сечение проводника за 1 секунду проходит заряд, равный 1 кулону.
3. Плотность тока jчисленно равна заряду, проходящему за 1 секунду через единицу поверхности, перпендикулярной к линиям тока: $J = \frac{I}{S} = n_0 e v$, где S – площадь поверхности (сечения); $n_0$ – число свободных электронов в единице объема; e – заряд электрона; $v$ – скорость электронов вдоль линии тока. Плотность тока – вектор. Единица плотности тока – ампер на квадратный метр ($А/м^2$).
4. Постоянным током называется такой ток, плотность которого в каждой точке проводника не изменяется со временем.
5. Направление постоянного тока. Принято считать, что направления

тока совпадает с направлением движения положительных зарядов, которое, в свою очередь совпадает с направлением электрического поля. В металлах подвижными носителями зарядов являются электроны, несущие отрицательные заряды.

6. Электрическое сопротивление проводника.

$R = \rho\frac{l}{s}$, где $\rho$ – удельное сопротивление материала проводника, Ом – м; $\ell$ – длина проводника, М; S–площадь поперечного сечения проводника, м$^2$. Единица сопротивления называется Ом. 10м – сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на его концах 1в течет ток силой 1ампер ($1\ Ом = 1В/1А$) Величина, обратная сопротивлению, называется электропроводностью и обозначается g. Единица электропроводности называется Сименс (См)

7. Закон Ома. Сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорционально сопротивлению проводника: $I = \frac{U}{R} = gu$. Закон Ома для участка цепи сопротивлением R: разность потенциалов (падения напряжения) $U$ на участке цепи сопротивлением R равняется $U = JR$закон Ома для цепи содержащей источник э.д.с: $\varepsilon = I(R + r) = IR + Ir = U + Ir$ или $I = \frac{\varepsilon - u}{r}$.

Здесь R–полное сопротивление внешней цепи; r–внутреннее сопротивление источника. Величина $IR - U$ называется падением напряжения на внешней цепи или напряжением на зажимах источника, замкнутого на внешнюю цепь

8. При последовательном соединении резисторов складываются обратные величины их сопротивлений, т.е их электропроводности: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$ или $G = g_1 + g_2 + \cdots + g_n$.

В этом случае токи в отдельных ветвях обратно пропорциональны сопротивлениям ветвей: $I_1 : I_2 : \cdots I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \cdots : \frac{1}{R_n}$.

Зависимость удельного сопротивления проводника от температуры:

$\rho_t = \rho_0[1 + \alpha(t - t_0)]$,

где $\rho_t$ – удельное сопротивление при температуре t; $\rho_0$–удельное сопротивление при температуре $t_0$; $\alpha$ – температурный коэффициент сопротивления.

9. Правило Кирхгофа. а) Для всякой точки разветвления (узла) электрической цепи сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от узла: $\Sigma I_{вх} = \Sigma I_{вых}$ или $\Sigma J = 0$.

б) Для всякого замкнутого контура алгебраическая сумма всех э. д. с контура равна алгебраической сумме падений напряжений на отдельных сопротивлениях контура:

$\Sigma\varepsilon = \Sigma IR.$

10. При последовательном соединении n источников с одинаковыми э. д. с равными $\varepsilon_0$, и одинаковыми внутренними сопротивлениями $r_0 \varepsilon = \varepsilon_0 n; r = nr_0.$ При параллельном соединении тех же источников $\varepsilon = \varepsilon_0; r = r_0/n$.

11. Закон Джоуля – Ленца. Работа электрического тока (тепловое действие тока) $A = Q = IUT = I^2RT$.

12. Мощность электрического тока
$P = \varepsilon I = (IR + Ir)J = (U + Ir)I = I^2R + I^2r = I^2(R + r)$. где $I^2 = UR$ – полезная мощность, выделяемая на внешнем сопротивлении R. Это мощность достигает максимума при $R = r$.

13. Коэффициент полезного действия цепи $\eta = \frac{P_{\text{внеш}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}$.

14. Закон Фарадея. При прохождении электрического тока через электролит масса m вещества, выделившегося на одном из электродов, пропорциональна заряду q прошедшему через электролит: $m = kq = \frac{A}{nF}q = \frac{A}{nF}It.$ Здесь F – число фарадея $96500\frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$; A – атомная масса выделившегося вещества; n – его валентность в данном электролите. Величина $A/n$ называется химическим элементом вещества, а величина $K = A/nF$ – его электрохимическим эквивалентом.

## Примеры решения задач

1.1. Сопротивление проволоки $R_1 = 81\ \text{Ом}$. Ее разрезали на несколько равных частей n, соединили эти части параллельно, вследствие чего сопротивление стало равно

1.2. $R_2 = 1\text{Ом}$. На сколько частей разрезали проволоку? Если представить неразрезанную проволоку как n последовательно соединённых сопротивлений, то $R_1 = nr$, где r – сопротивление одного отрезка. При параллельном соединении $R_2 = \frac{r}{n}$. Решив совместно оба уравнения, получим $n = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{81\text{Ом}}{1\text{Ом}}} = 9.$

Отв. $n = 9$ частей.

2.2. По медному проводнику сечением $s = 0{,}17\text{мм}^3 = 0{,}17 \cdot 10^{-6}\text{м}^2$ течет ток $I = 0{,}025\text{А}$. определить, какая сила действует на отдельные электроны со стороны электрического поля.

Запишем Закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$, где U – напряжение; $R = \rho\frac{l}{s}$ – сопротивление участка. Здесь $\rho$ – удельное сопротивление, $l$ – длина, S – площадь поперечного сечения проводника. Из этих уравнений $I = \frac{US}{\rho l} = \frac{ES}{\rho}$, так как для однородного проводника $E = \frac{U}{l}$. Сила, действующая на электрон,

$$F = eE = e\frac{J\rho}{S} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{кл}\frac{0.025A \cdot 0.17 \cdot 10^{-7}\text{Ом}\cdot\text{м}}{0{,}17 \cdot 10^{-6}\text{м}^2} = 0{,}04 \cdot 10^{-20}\text{н} = 4 \cdot 10^{-22}\text{н}.$$

Отв. $F = 4 \cdot 10^{-22}$н

2.3. Э.д.с. батарейки карманного фонаря $\varepsilon = 4{,}5$в, её внутреннее сопротивление $r = 3$Ом. Сколько таких батареек нужно соединить последовательно, чтобы питать лампу, рассчитанную на напряжение $U = 220$в и мощность $P = 60$Вт?

Лампа рассчитана на ток $I = P/U$ и её сопротивление $R = U^2/P$. Закон Ома для замкнутой цепи: $I = \frac{\varepsilon n}{R + nr}$, где $\varepsilon$ – э.д.с батарейки; r – её внутреннее сопротивление; n – число батареек. Отсюда $n = \frac{IR}{\varepsilon - Ir} = \frac{U}{\varepsilon - \frac{Pr}{U}} = \frac{220\text{в}}{4{,}5 - \frac{60\text{Вт}\cdot 3\text{Ом}}{220\text{В}}} = 59.$

2.4. Два элемента с одинаковыми э.д.с $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$в и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$Ом и $r_2 = 2$Ом замкнуты на внешнее сопротивление R. Через элемент с э.д.с. $\varepsilon_1$ течет ток $I_1$=1А. найти сопротивление R и ток $I_2$, текущей через элемент э.д.с $\varepsilon_2$. Какой ток $I$ течет через сопротивление R? (см рис.1)

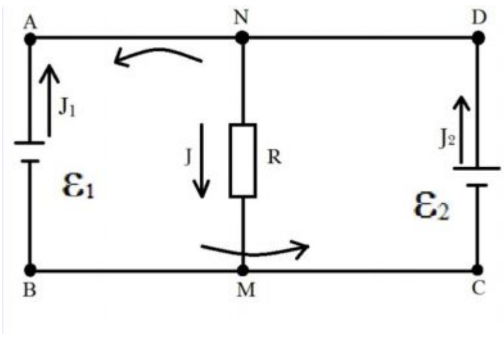



**Рис. 1**

Решение: Рассмотрим два контура ABCD и ABMN. Для каждого выберем направление обхода. Определим направление токов в каждом из элементов схемы. По второму правилу Кирхгофа для контура ABCD имеем $\varepsilon_2 \quad \varepsilon_1 = I_2 r_2 \quad I_1 r_1$ (1); для контура ABMN имеем $-\varepsilon_1 = -I_1 r_1 - IR$ (2). По первому правилу Кирхгофа узла Nимеем $I = I_1 + I_2$ (3). Из уравнения (1) так $I_2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 + I_1 r_1}{r_2} = 0.5A$. Решение систему уравнений методом подстановки, т.к. у нас есть три уравнения и три неизвестных. Подставив найденное значение тока $I_2$ в уравнение (3), найдем ток $I = I_1 + I_2 = 1.5\,A$. Из уравнения (2) сопротивление

$$R = \frac{\varepsilon_1 - I_1 r_1}{I} = 0.66\ \text{Ом}.$$

2.5. Электрод в виде медной пластины площадью $25\ см^2 = 25\cdot 10^{-6} м^2$ погружен в электролитическую ванну с раствором медного купороса. При прохождении тока, плотность которого $0{,}02 А/см^2$, на пластине выделилось $100 м^2 = 100\cdot 16^{\,6} кг = 10^{\,4}$ кг меди. Определить время пропускания тока. Считать медь двухвалентной

Решение: время пропускания тока определим по закону Фарадея: $m = \frac{1}{F}\frac{A}{n}IT$, где $I = \sigma s$ то $t = \frac{mFn}{A\sigma S}$ (1) где m – масса вещества, отложившегося на катоде, $F = 96500\frac{Кл}{моль} n$ – валентность, А – масса одного килограмм –эквивалента вещества, σ – плотность тока, S – площадь пластины.

Подставив числовые данные в формулу (1) получим

$$t = \frac{10^{-4}\cdot 9.65\cdot 10^{7}\cdot 2}{64\cdot 200\cdot 2.5\cdot 10^{-2}} c = 620c = 10\ мин\ 2c$$

## IV. Электромагнетизм

1.3. Закон Био – Савара – Лапласа. Всякий электрический ток создает магнитное поле. Интенсивность магнитного поля в данной точке характеризуется вектором магнитного индукции $\vec{B}$. Величина и направление этого вектора определяется законом Био – Савара – Лапласа. $\Delta B = \frac{MM_0}{4\pi r^2} J\Delta l sin\alpha$

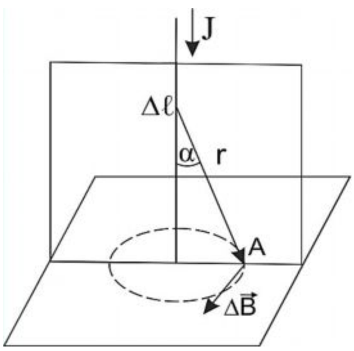



рис 3.1

Здесь $\Delta B$ – магнитная индукция в точке А создаваемая током J, протекающим через элемент провода длиной $\Delta\ell$; $M_0 = 4\pi\cdot 10^{-7} Ом\cdot с$. Или Г/м – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды; r–радиус – вектор, соединяющий элемент $\Delta\ell$ с точкой, в которой вычисляется индукция; 2 – угол между направлением тока в элементе и радиус вектором r.Вектор $\Delta\vec{B}$ перпендикулярен плоскости, в которой лежат элемент $\Delta\ell$ и радиус вектор $\vec{r}$. Его направление определяется по правилу буравчика (если последний ввинчивать в направлении тока). Единица магнитной индукции – $1 В\ с/м^2 = 1 Вб/м^2 = 1 Тл$. Так как тесла –крутая единица, иногда пользуется единицей гаусс (Гс) $1 Гс = 10^{-4} Тл = 10^{-4} Вб/м^2$.

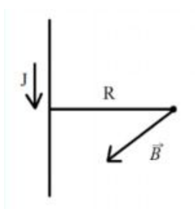
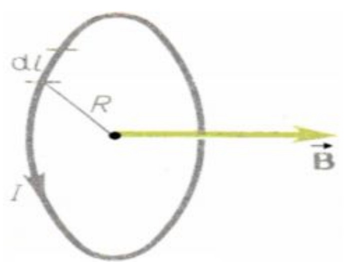



рис 3.2

3.2 Магнитная индукция бесконечного



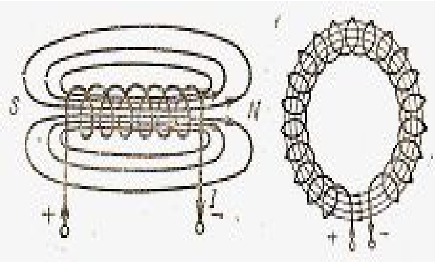
прямого тока (рис 3.2) $B = \frac{\mu\mu_0 J}{2\pi R}$ где R – расстояние от проводника до точки, в которой определяется индукция.

рис 3.3

3.3 Магнитная индукция в центре кольцевого тока.

$$B = \frac{\mu\mu_0 J}{2R}$$

где R – радиус Кольца.




3.4 Магнитная индукция на оси длинного прямого соленоида вдали от его концов. И тороида на его оси $B = \mu\mu_0 n$где n–число витков на единицу длины намотки.

рис 3.4

3.5 Магнитный поток. Поток ф вектора магнитной индукции $\vec{B}$ через площадку Sравен произведению составляющей этого вектора $B_n$ на величину площадки:

$$\phi = BnS = BSCos\,(\vec{B}\vec{n})$$

3.6 Закон Ампера. Сила с которой магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ воздействует на прямой проводник длинной ℓ, в котором течет ток J, равна $\vec{F} = J[\vec{\ell}\ x\ \vec{B}]$ или $F = J\ell B sin(\vec{\ell}, \vec{B})$ очевидно, что $F - F_{макс}$, когда проводник $\ell$ перпендикулярен к $\vec{B}$.

3.7 Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд q, движущийся со скоростью $\vec{v}$в магнитном поле с индукцией $\vec{B}\vec{F} - q[\vec{v}\ x\ \vec{B}]$ или $F = qvBsin(\vec{v}, \vec{B})$.

3.8 Взаимодействие между параллельными проводами с токами. Сила взаимодействия между двумя параллельными проводниками длиной ℓ с током $I_1$ и $I_2$ расстояние между которыми равно α $(\ell \gg \alpha)$. $F = \frac{\mu\mu_0 J_1 J_2 \ell}{2\pi a}$ и направлена перпендикулярно проводникам. Сила, действующая на единицу длины провода в вакууме $F = 2 \cdot 10^{-7} \frac{J_1 J_2}{a}$.

3.9 Закон электромагнитной индукции Фарадея. При любом изменении магнитного потока пронизывающего контур, в последнем возникает электродвижущая сила индукции $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Значение э.д.с возникающей на концах проводника длинной $\ell$ движущегося в магнитном поле с индукцией B со скоростью $v\ \varepsilon = B\ell v\ sin\ a$

где $\alpha$ – угол между направлениями и векторов $\vec{B}$ и $\vec{v}$.

3.10 Э.д.с самоиндукции. Индуктивность. Если магнитный поток создается переменным током, то текущее в самом рассматриваемом контуре (т.е. пронизывает свой же контур), в нем создается э.д.с самоиндукции. Магнитный поток Ф пронизывающий контур, пропорционален току J в контуре

$$\varepsilon_{си} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(LJ)}{\Delta t} = -L\frac{\Delta J}{\Delta t}$$

где L – коэффициент самоиндукции, или индуктивность контура. Единица индуктивности называется генри (Гн).

3.11 Взаимоиндукция. Если две катушки расположены близко друг к другу, то часть магнитного потока первой из катушек $\Phi_{1,2}$ пронизывает витки второй и наоборот, частьмагнитного потока второй катушки $\Phi_{2,1}$ пронизывает витки первой. Так как магнитные потоки пропорциональны токам, то $\Phi_{1,2} = L_{1,2}J_1$; $\Phi_{2,1} = L_{2,1}J_2$, причем $L_{1,2} = L_{2,1} = M$. Величина M называется коэффициентом взаимной индукции $U$измеряется в Генри (Гн). $M = \mu\mu_0 n_1 n_2 S\ell$, где $n_1, n_2$ – число витков на единицу длины каждой катушки;

S – среднее сечение витка.

3.12 Энергия магнитного поля контура $W = \frac{I\Phi}{2} = \frac{LI^2}{2}$ энергия однородного магнитного поля в однородной и неферромагнитной среде $W = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_0}V$. Объемная плотность магнитного поля, однородной неферромагнитной среде и произвольных магнитных полей $w = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_0}$ объемная плотность энергии электромагнитного поля равна сумме объемных плотностей энергии электрического и магнитного полей

$$w = w_э + w_м = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

## Примеры решения задач

3.1 Чему равна индукция магнитного поля в центре кругового витка радиусом 0,1м, если магнитный момент витка $0{,}2$ АМ$^2$?

Дано: $R = 0{,}1$м$P_m = 0{,}2$ АМ.$^2$

Найти: B

Решение: индукция магнитного поля в центре кругового тока $B = \mu\mu_0\frac{I}{2R}$ где $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$Ом$\cdot c = 1{,}26\cdot10^{-6}$Г/м, магнитный момент витка с током

$P_m = IS = I\pi R^2$, отсюда $I = \frac{P_m}{\pi R^2}$.

Тогда $B = \mu\mu_0\frac{I}{2R} = \mu\mu_0\frac{P_m}{2\pi R^3} = 1\cdot1{,}26\cdot10^{-6}\cdot\frac{0{,}2}{2\cdot3{,}14\cdot10^{-3}} = 4\cdot10^{-5}$Тл.

3.2 При силе тока 0,5А индукция магнитного поля на оси достаточно длинного соленоида $3{,}15\cdot10^{-3}$Тл. Определить диаметр провода, из которого изготовлена однослойная обмотка соленоида. Витки обмотки плотно прилагают друг к другу. Соленоид без сердечника

Дано: $B = 3{,}15 \cdot 10^{-3}$Тл, $I = 0{,}5$А, $\mu = 1, \mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м.

Найти $d = ?$

Решение: Индукция магнитного поля на оси данного соленоида $B = \mu \mu_0 n I$, где n – число витков на единицу длины. Если витки плотно прилегают друг к другу, то $d = \frac{1}{n}$, или

$$d = \frac{\mu\mu_0 I}{B} = \frac{1.26 \cdot 0.5}{3.15 \cdot 10^{-3}} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

3.3 Параллельно длинному прямолинейному проводнику с током на расстоянии 2мм от него движется. Электрон со скоростью $10^7$м/с. С какой силой будет действовать магнитное поле тока на электрон, если по проводнику течет ток 10А?

Дано:

$\upsilon = 10^7$м/с, $I = 10A$, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$Кл, $d = 2 \cdot 10^{-3}$м, $\mu = 1, \mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}$Гн/м. $\alpha = 90^\circ$

Найти: $F_л = ?$

Решение: модуль силы Лоренца действующей на электрон, движущийся в магнитное поле, $F_л = e\upsilon B sin\alpha$. Индукция магнитного поля прямого тока $B = \mu \mu_0 \frac{I}{2\pi\alpha}$. Тогда

$$F_л = e\upsilon\mu\mu_0 \frac{\mathcal{J}}{2\pi d} = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^7 \cdot 1.26 \cdot 10^{-6} \frac{10}{2 \cdot 3.14 \cdot 10^{-3}} = 10^{-15} H.$$

3.4 Определить индуктивность катушки с неферромагнитным сердечником, имеющей 800 витков. Длина катушки 0,25м, диаметр витков 4см. По катушке идет ток 1А. Чему равен магнитный поток сквозь поперечное сечение катушки? Какова энергия магнитного поля катушки?

Дано: $\ell = 0{,}25$м, $d = 4$см $= 0{,}04$м, $N = 800, J = 1A, \mu = 1, \mu_0 = 1.26 - 10^{-6}$ Гн/м.

Найти: $\Phi = ?$ $W = ?$

Решение: индуктивность катушки с неферромагнитным сердечником

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S = 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{800^2}{0.25} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 0.64 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot (0.04)^2 = 1.26 \cdot 0.64 \cdot 0.005 = 0.004\text{Гн} = 4\text{мГн}.$$

Магнитный поток $\Phi = \frac{L \cdot I}{N} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{800} = 5 \cdot 10^{-6}$Вб.

Энергия магнитного поля $W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1^2}{2} = 2 \cdot 10^{-3}$Дж.

## V. Колебательные процессы

### 5.1 Механические и электромагнитные колебания

Колебания – процессы отклонения от равновесного состояния, повторяющиеся через одинаковые промежутки времени. Наименьший промежуток времени, по истечении которого повторяется все значение физических величин, характеризующих колебательное движение, называется периодом колебаний T. Частота колебаний

$$\gamma = \frac{1}{T}, \qquad (4.1)$$

Механические колебания – повторяющиеся отклонения тела от положения равновесия. Они происходят под воздействием сил упругости, сил тяжести и др., например, колебания груза на пружине, колебания маятника, волны на поверхности воды. К этому же типу колебаний относятся и колебания плотности, объема, температуры и т.д.

Электромагнитные колебания – повторяющиеся изменения электрических напряжений и токов в электрических цепях и напряженностей электрического магнитного полей в пространстве вокруг этих цепей.

Несмотря на различную природу тех или иных колебаний, в них обнаруживаются сходные физические закономерности.

Свободные и вынужденные колебания. Резонанс. При определенных условиях устойчивая система, выведенная из состояния равновесия и затем представленная самой себе, совершает колебания около этого состояния. Такие колебания называются свободными. Если же система колеблется в результате регулярно повторяющегося внешнего воздействия, то система совершает, вынужденные колебания. При совпадении частоты внешнего воздействия и частоты собственных колебаний амплитуда колебаний сильно возрастает, это явление называется резонансом.

Под действием восстанавливающей силы точка совершает свободные гармонические колебания вдоль оси X, Смещение точки в данный момент времени tопределяется уравнением гармонических колебаний: $x = A\sin(\omega t + \varphi)$или $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ (4.2) где $\varphi = \varphi_0 + \frac{\pi}{2}$.(4.3) Оба уравнения равнозначны и отличаются лишь сдвигом начальной фазы на величину $\pi/2$. Как и в кинематике, круговая или циклическая, частота колебаний $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\Pi}{T}$. (4.4). Величина A представляет собой наибольшее отклонение точки$x_{макс}$от положения равновесия (амплитуда колебаний). Выражение в скобках под знаком тригонометрической функции называется фазой колебаний и характеризует положение точки в момент t. Величина φ или φ0 является начальной фазой в момент $t = 0$. Пусть смещение точки в момент

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0) = x_{макс}\cos(\omega t + \varphi_0). \qquad (4.5)$$

Тогда скорость точки $v_x = \quad A\sin(\omega t + \varphi_0) = v_{max}\sin\,(\omega t + \varphi_0)$

ускорение точки

$$a_x = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0) = a_{макс}\cos\,(\omega t + \varphi_0) \qquad (4.6)$$

Здесь

$$x_{макс} = A;\ v_{макс} = -A\omega;\ a_{макс} = -A\omega^2. \qquad (4.7)$$

Согласно второму закону Ньютона

$$F = ma = -m\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi_0) = -m\omega^2 x = -kx \qquad (4.8)$$

где $k = m\omega^2$ – коэффициент жесткости. Знак «-» означает что направление силы Fпротивоположно смещению. Период колебаний гармонически колеблющейся точки

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}.(4.9)$$

Кинетическая энергия гармонически наблюдающейся материальной точки

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t+\varphi_0)}{2}. \qquad (4.10)$$

Потенциальная энергия наблюдавшейся материальной точки, смещенной на X от положения равновесия,

$$E_n = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t+\varphi_0)}{2}. \qquad (4.11)$$

Полная механическая энергия наблюдающейся материальной точки

$$E_k + E_n = \frac{m\omega^2 A^2}{2} = \frac{4\Pi^2 mA^2}{2T^2} = \frac{2\Pi^2 mA^2}{T^2} \qquad (4.12)$$

Математический маятник – материальная точка, подвешенная на тонкой нерастяжимой невесомой нити. При углах отклонения, меньших 5о, колебаний математического маятника можно считать гармоническими с периодом

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (4.13)$$

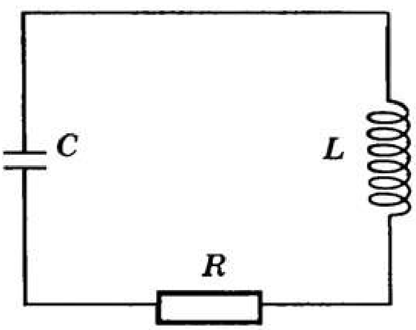
где $\ell$ - длина нити; g – ускорение свободного падения.

Физическим маятником называется тело, способное колебаться вокруг оси не совпадающей с его центром тяжести.[точка относительно которой сумма моментов сил ($M = Fd$где Fмодуль, приложенной к телу силы, а d–плечо этой силы относительно данной оси) всех частиц тела равна нулю]. При малых углах отклонения период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4.14)$$

где j - момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний, a–расстояние центра тяжести маятника от оси колебаний, $L = \frac{J}{ma}$ – приведенная длина физического маятника. Формулы (1) и (2) являются точными для случая бесконечного малых амплитуд.

## VI. Свободные электромагнитные колебания




Электрический колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C, катушки индуктивностью L и резистора сопротивлением R.

Если зарядить конденсатор до напряжения и затем предоставить контур самому себе, то в нем возникнут затухающие электромагнитные колебания. Условием возникновения колебаний является соотношение $X_L - X_C = 0$ или $\omega L = \frac{1}{\omega c}$ откуда вытекает формула Томпсона $\frac{1}{c} = L\omega^2 \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\frac{1}{\sqrt{LC}}} = 2\pi\sqrt{LC} \qquad T = \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}. \qquad (4.15)$$

где T – выражается в секундах, если L – в генри, в С–в Фарадах.

Длина волны – расстояние между двумя ближайшими точками среды, колеблющимися в одинаковой фазе. Длина волны λ, период колебаний T (или частота $\nu$) и скорость распространения волны υ связаны соотношением $\lambda = \upsilon T = \frac{\upsilon}{\nu}$.

Скорость электромагнитных волн в среде с диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ определяется соотношением $\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$, где с – скорость света в вакууме. ЭМВ являются поперечными волнами.

## Примеры решения задач

4.1 Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой $\nu$ = 500 Гц и амплитудой A = 0,02 см. определить средние значения скорости < υ >и ускорения <a> точки на пути от её крайнего положения до положения равновесия, а также максимальные значения этих величин: $\upsilon_{макс}$ и $A_{макс}$.

Решение. По определению средней скорости имеем $<\upsilon> = \Delta l/\Delta t$ (1)

где $\Delta \ell$ - путь, пройденный за время $\Delta t$. В данном случае

$$\Delta\ell = A; \Delta t = T/4,$$

поскольку за время периода T колеблющаяся точка проходит путь, равный четырем амплитудам. Подставив эти значения $\Delta\ell$ и $\Delta t$ в (1) и учитывая соотношение (4.4) получим

$$<\upsilon> = 4A/T = 4\nu A. \qquad (2)$$

По формуле $v = \omega A\cos(\omega t + \varphi_0)$

положив $\cos(\omega t + \varphi_0) = 1$, найдем максимальную скорость:

$$\upsilon_{макс} = \omega A = 2\pi V A. \qquad (3)$$

Согласно определению среднего ускорения, запишем

$$<a> = \Delta\upsilon/\Delta t \qquad (4)$$

где $\Delta v = v - v_0$.

В данном случае начальная скорость $v_0 = 0$, конечная скорость $v = \upsilon_{макс} = \omega A.$ Подставив значения $\Delta\upsilon$ и $\Delta t = T/4$ в формулу (4) используя соотношение (4.4):

$< a > = 4\omega A/T = 8\pi\nu^2 A$ (5)

По формуле $a = -\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$,

приняв $\sin(\omega t + \varphi_0) = 1$, найдем максимальное ускорение $A_{макс} = \omega^2 A = 4\pi^2 V^2 A.$ (6)

Подставив в формулы (2), (3),(5),(6) Числовые данные и выполнив вычисление, получим:

$$< \upsilon > = \frac{40\text{см}}{\text{с}}, \upsilon_{макс} = \frac{63\text{см}}{\text{с}}, < a > = 1{,}2 \cdot \frac{10^5\text{см}}{\text{с}^2} a_{макс} = 2 \cdot 10^5 \text{см}/\text{с}^2$$

4.2 Материальная точка с массой $m = 5\text{г}$ совершает гармоническое колебания с частотой $\nu = 0.5\ \text{Гц}$. Амплитуда колебаний $A = 3\text{см}$. Определить скорость, ускорения и силу, действующую на точку в момент, когда смещение $x = 1.5\ \text{см}.$

1) Уравнение гармонических колебаний: $x = A\cos(\omega t + \varphi)$, где x–смещение колеблющейся точки от положения равновесия; А – амплитуда; $\omega t + \varphi$ – фаза колебаний; $\varphi$ – начальная фаза; ω – циклическая частота; t – время.

2) Скорость точки, совершающей гармонические колебания, $\upsilon = -A\omega\ \sin(\omega t + \varphi)$,

3) Чтобы выразить скорость через смещение, нужно исключить из выше приведенных формул время. Для этого возведем оба уравнения в квадрат, разделим первое из них на А2, второе на $A^2 10^2$ и сложив, получим $\frac{X^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} = 1$. или учитывая, что $\omega = 2\pi\nu$,.

$\frac{X^2}{A^2} + \frac{v^2}{4\pi^2 V^2 A^2} - 1$. Решая полученное уравнение относительно $v$, необходим

$v = \pm 2\pi\upsilon\sqrt{A^2 - X^2} = \pm 8{,}2\text{см}/\text{с}$

ускорение, $a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x = -4\pi^2\upsilon^2 x = 59{,}16\ \text{см}/\text{с}^2$

согласно второму закону Ньютона $F = ma = 295{,}8 \cdot 10^{-5}\text{Н}$

4.3 Как изменится период колебаний маятника при переносе его с земли на Луну? Периоды колебаний математического маятника на Луне и на Земле равны соответственно $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_л}};\ T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_з}};$ где $g_л, g_з$ – ускорения свободного падения на поверхности Луны и Земли; $l$ – длина маятника. Согласно закону всемирного тяготения $g_л = \gamma\frac{M_л}{R_л^2};\ g_з = \gamma\frac{M_з}{R_з^2}$,

где $\gamma$ – гравитационная постоянная; $M_л, M_з$ – массы Луны и Земли; $R_л, R_з$ –

радиусы Луны и Земли. Таким образом можем записать

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{R_з}{R_л}} = \sqrt{\frac{M_з R_л^2}{M_л R_з^2}} = \sqrt{\frac{5{,}9\cdot10^{24}\,кг\cdot(1{,}7\cdot10^6\,м)^2}{7{,}4\cdot10^{22}\,кг\cdot(6{,}4\cdot10^6\,м)^2}} = \sqrt{\frac{590\cdot2{,}9}{7{,}4\cdot41}} = \sqrt{\frac{17н}{287}} = \sqrt{5{,}9} = 2{,}44.$$

где $M_з = 5{,}9\cdot10^{24}кг, M_л = 7{,}4\cdot10^{22}кг;\ R_л = 1{,}7\cdot10^6м, R_з = 6{,}4\cdot10^6м$

4.4 Чему равен период колебаний математического маятника, находящегося в вагоне, движущемся горизонтально с ускорением а?

Период колебаний математического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_l}}$ где $g_1 = \sqrt{g^2 + a^2}$ – ускорение свободного падения в ускоренно движемся вагоне. Таким образом,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}}.$$

4.5 Период колебаний математического маятника длиной $l$ в неподвижном лифте To. Чему равен период колебаний такого маятника если лифт:

1) поднимается вертикально вниз с ускорением $a = 0{,}5\,g$?

2) опускается вертикально вниз с с ускорением $a = 0{,}5\,g$?

1) ускорение свободного падения при подъеме лифта равна$g + a$, следовательно,

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{1.5g}} = T_0\sqrt{\frac{2}{3}}$$

2) ускорение свободного падения при опусканием лифта равно $g - a$, так что

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g-a}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{0.5g}} = T_0\sqrt{2}$$

4.6 К пружине подвешен груз с массой $m = 10кг$. Зная, что пружина под влиянием силы $F = 2.45H$ растягивается на величину $x = 1.5см$, определить период вертикальных колебаний груза. Период колебаний груза на пружине $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

где к – коэффициент жесткости пружины. Учитывая что $F = -kx$, находим $K = \left|\frac{F}{x}\right|$;

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{mx}{F}} = \sqrt{\frac{10кг\cdot1{,}5\cdot10^{-2}м}{2{,}45\,\frac{кг*м}{с^2}}} = 1{,}532с.$$

4.7 Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости С = 2 мкф получить звуковую частоту $\upsilon = 10^3Гц$?Сопротивление контура пренебречь.

Период колебаний Контура можно определить по формуле Томпсона

$T = 2\pi\sqrt{LC}$, откуда $L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{\frac{1}{V^2}}{4\pi^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 V^2 C}$. $L = \frac{1}{4\cdot(3.14)^2\cdot(10^3)^2\cdot(2\cdot10^{-6})} = \frac{1}{78.87} = 0.0127\text{Гн} = 12.7\cdot10^{-3}\text{Гн}$.

4.8 Период электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из емкости C, индуктивности L и сопротивления R, определятся формулой

$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - (\frac{R}{2L})^2}}$, частота $V = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - (\frac{R}{2L})^2}$.

4.9 Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 48\,\text{мкф} = 48\cdot10^{-6}\,\text{ф}$ и катушки индуктивностью $L = 24\cdot10^{-3}\text{Гн}$ активным сопротивлением

$R = 200\ \text{Ом}$. Определить частоту свободных электромагнитных колебаний в этом контуре. Насколько изменится частота, если пренебречь активным, сопротивлением катушки?

$$\upsilon = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = \frac{1}{6{,}20}\sqrt{\frac{1}{24\cdot10^{-3}\text{Гн}\cdot40\cdot10^{-6}\text{ф}} - \left(\frac{200\ \text{Ом}}{40\cdot10^{-3}\text{Гн}}\right)^2} = 0{,}16\sqrt{\frac{1}{1152\cdot10^{-9}} - \frac{4\cdot10^4}{2304\cdot10^{-6}}} = 132\ \text{Гц}.$$

если R = 0 то

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC}, \upsilon_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 148\text{Гц}. \Delta\upsilon = \upsilon_1 \quad \upsilon = 148\text{Гц} \quad 132\text{Гц} = 16\text{Гц}.$$

5.1 Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 5\text{мкф} = 5\cdot10^{-6}\text{ф}$ и катушки индуктивностью $L = 0.2\text{Гн}$. Определить максимальную силу тока $I_0$ в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора $U_0 = 90\text{В}$. Сопротивлением контура R пренебречь.

Решение: в контуре будет незатухающие колебания, при этом $q = q_0\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ (1)

Поэтому, дифференцируя обе части (1) по времени, получим для силы тока в контуре уравнения $I = \omega_0\, q_0\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

Величина $I_0 = \omega_0 q_0$ является амплитудным, т.е. максимальным значением тока в контуре, где $\omega_0 = \sqrt{1/LC}, q_0 = CU_0$ определим искомую величину:

$$\mathcal{J}_0 = \omega_0 q_0 = \sqrt{1/LC}\,CU_0 = U_0\sqrt{\frac{C^2}{LC}} = U_0\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

В процессе незатухающих ЭМК полная электромагнитная энергия контура, равная сумме энергий электрического поля конденсатора $CU^2/2$ и магнитного поля катушки *LJ2/2*, остается постоянной. При этом в те моменты, когда конденсатор максимально заряжен (U = U0), сила тока равна нулю. Следовательно, полная энергия контура

$W = \frac{CU_0^2}{2}$ (2)

В то время, когда конденсатор разряжен (U = 0), сила тока достигает максимального значения J0. Тогда полная энергия контура

$W = LJ_0^2/2$ (3)

Приравняв, правые части формул (2), (3) найдем

$J_0 - U_0\sqrt{C/L}$

Подставив числовые данные величин выраженные в единицах СИ и произведя вычисленные, получим $J_0 = 0{,}45\text{А}$.

## VII. Волновая оптика

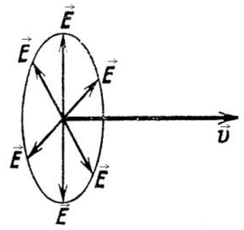


рис.1

1. Свет представляет собой в одних случаях себя как электромагнитная волна, в других – как поток особых частиц (фотонов) видимый свет – это электромагнитные волны, лежащие в диапазоне длин волн от

$$\lambda - 7800\text{Å} - 780\text{нм} - 0{,}78\text{ мкм}$$
$$\text{до } 4000\text{Å} = 400\text{нм} = 0{,}4\text{ мкм},$$

которое способно вызывать зрительное ощущение в человеческом глазе.

Световая волна, у которой направления колебаний электрического $\vec{\mathbf{E}}$ (и соответственно магнитного $\vec{H}$) вектора хаотически меняются, так что для него равновероятны все направления колебаний в плоскости, перпендикулярной лучу, называются естественным светом (рис.1) Вместе с тем не следует забывать, что оба вектора поля ($\vec{\mathrm{E}}$ и $\vec{H}$) неразрывно связаны в электромагнитной волне и ни при каких условиях нельзя получить волну, в котором была бы только одна составляющая поля.

### 7.1 Интерференция света

1. Интерференцией называется усиление и ослабление в результате сложения двух (или нескольких) световых волн с одинаковыми периодами и постоянной разностью фаз и колебания происходят в одной плоскости. Для интерференции света необходимо, чтобы световые волны были когерентными (разность фаз колебаний были постоянными во времени). Имеется много способы наблюдения интерференции света (зеркала Френеля, Бипризма Френеля, кольцами ньютона и.т.д). После прохождения различным оптических длин путей:

$\Delta = 2k\lambda/2 = k\lambda (k = 0{,}1{,}2{,}3..)$ – условия максимума при интерференции;

$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} (k = 0{,}1{,}2{,}3..)$ – условия минимумапри интерференции. Где λ – длина световой волны, К – номера интерференционных максимумов и минимумов. Радиусы темных колец в отраженном или светлых колец в проходящем свете с длиной волны $\lambda$ $r_k = \sqrt{kR\lambda}(k = 0,1,2,3..)$, R – радиусы линзы $r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}$ – радиусы светлых колец в отраженном или темных колец в проходящем свете.

## 7.2 Дифракция света

Дифракцией света называется отклонение света прямолинейного распространения при встрече с отверстием щелью или краями преграды, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

Для решения дифракционных явлений применяются принципы Гюйгенса – Френеля, где волновые поверхности разбиты на кольцевые зоны построенные так , чтобы расстояния от краев каждой зоны до точки приема отличаются на $\frac{\lambda}{2}$ (λ – длина волны в той среде, в которой распространяется волна). Обладающие таким свойством зоны носят название зон Френеля.

Площадь зон Френеля примерно одинаковы и равны $S = \frac{\Pi ab\lambda}{a+b}$ радиус и зоны Френеля определяется по формуле $r_n = \sqrt{\frac{\lambda abn}{a+b}}$ условия дифракционной максимумов и минимумов от одной щели на которую свет падает нормально:

$a\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, $a\sin\varphi = \frac{2K\lambda}{2}$ где k = 1,2,3, a ширина щели, $\varphi$ – угол дифракции. Условие главных максимумов дифракционной решетки: $d\sin\varphi = \frac{2K\lambda}{2}\ (k = 1,2,3.)$, где d – период решетки $d = a + b$. Разрешающая способность дифракционной решетки $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = KN$ где Δλ – разность длины волн двух соседних спектральных линий $(\lambda \text{ и } \lambda + \Delta\lambda)$N–полное число щелей решетки, K–порядок спектра.

## 7.3 Поляризация света

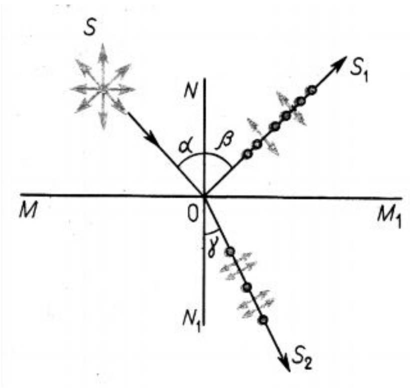


рис.2

1.Естественный свет является неполяризованным (рис1)

2.Если же по какой либо причине колебание вектора $\vec{E}$ в световой волне становятся упорядоченными и происходят в определенных направлениях, такой свет называется поляризованным если таких направлений несколько, свет называют частично поляризованным (рис.2).

Причины поляризации света: а) при прохождении света через кристаллы турмалина обладающий способностью пропускать световые волны в одной определенной плоскости (см. рис3) б) при отражении и преломлении света на границе раздела двух сред (диэлектриков ) (см. рис.2)

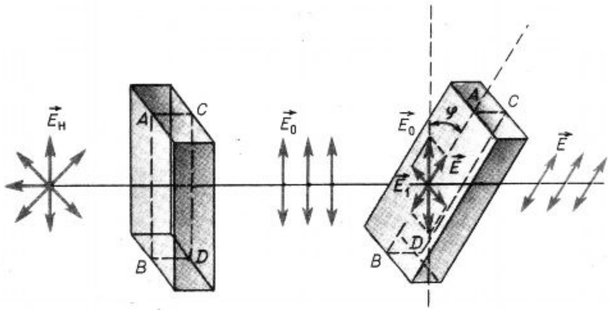


рис.3

Опыт показывает, что поворот пластинки турмалина относительно горизонтальной оси приводит к изменению интенсивности света по формуле Малюса $I = I_0 cos^2\alpha$ где $I_0$ интенсивность света падающего на анализатор относительно поляризатора (относит. второй пластинки)

1.Дисперсия 2. Закон Брюстера

1.Дисперсией света называется явление обусловленные зависимостью показателя преломления вещества от длины световой волны. Эту зависимость можно характеризовать функцией $n = f(\lambda_0)$где$\lambda_0$ - длина световой волны в вакууме. n – абсолютный показатель преломления среды

2. Закон Брюстера $\text{tg}\,\alpha_б = n_{21}$. Относительный показатель преломления среды. Для стекла $\alpha_б = 57°$.

## Примеры решения задач

**5.2** При фотографировании спектра звезды Андромеды было найдено, что линия титана ($\lambda = 495{,}4$ нм) смещена к фиолетовому концу спектра на $\Delta\lambda = 0{,}17$ нм. Как движется звезда относительно Земли?

Решение:

Смещение спектральных линий в сторону коротких волн означает, что звезда приближается к нам. Радиальная скорость ее движения (т.е. скорость вдоль линии, соединяющей звезду и Землю) находится из соотношения $v = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda} = 103 \times 10^3$ м/с.

**5.3**В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом ($\lambda$ = 600 нм). Расстояние между отверстиями $d$ = 1мм, расстояние от отверстий до экрана L = 3 м. найти положение трех первых светлых полос.

Решение:

Первая светлая полоса находится на расстоянии $y_1=\frac{L}{d}\lambda=1{,}8\times10^{-3}$ м. Вторая – на расстоянии $y_2=2y_1=3{,}6\times10^{-3}$ м. Третья – на расстоянии $y_3=3y_1=5{,}4\times10^{-3}$ м.

**5.4** Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы R = 15м. Наблюдение ведется в отраженном свете. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона $l$=9 мм. Найти длину волны λ монохроматического света.

Решение:

Радиус $k$-го светлого кольца в отраженном свете определяется соотношением $r_k=\sqrt{(2\kappa-1)R\frac{\lambda}{2}}$. Тогда $l$ = $r_{25}-r_5=\sqrt{49R\frac{\lambda}{2}}-\sqrt{9R\frac{\lambda}{2}}$; $l=4\sqrt{R\frac{\lambda}{2}}$.

Отсюда $\lambda=\frac{l^2}{8R}=675\times10^{-9}$ м.

**5.5** Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны λ = 600 нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Найти толщину h воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.

Решение:

Условие минимума в отраженном свете; $2hn=k\lambda.$ По условию $h=2\lambda=1.2\cdot10^{-6}$м.

**5.6** Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны λ = 600 нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Найти толщину h воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.

Решение:

Условие максимума в отраженном свете $2dn=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ Отсюда $\lambda=\frac{4dn}{2k+1}$.

При k=1 получаем $\lambda=800\text{нм}$, данная волна не лежит в пределах видимого спектра. При $k=2$ получим $\lambda=343\text{нм}$, это длина волны также не лежит в пределах видимого спектра. Таким образом, искомая длина волны $\lambda=480\text{нм}$.

**5.7** На дифракционную решетку нормально падает пучок монохроматического света. Максимум третьего порядка наблюдается под углом φ= 36°48' к нормали. Найти постоянную $d$ решетки, выраженную в длинах волн падающего света.

Решение:

По формуле дифракционной решетки $d\sin\varphi=3\lambda$ оттуда $\frac{d}{\lambda}=\frac{3}{\sin\varphi}=5$, т.е $d=5\lambda$.

**Контрольная работа**

| Вариант | | Номера | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | **9.1** | **10.1** | **11.9** | **12.1** | **14.1** | **15.1** | **16.1** | **17.4** | **18.1** |
| **1** | **9.2** | **10.2** | **11.10** | **12.3** | **14.3** | **15.2** | **16.3** | **17.6** | **18.2** |
| **2** | **9.3** | **10.3** | **11.15** | **12.8** | **14.9** | **15.3** | **16.5** | **17.9** | **18.3** |
| **3** | **9.4** | **10.4** | **11.16** | **12.12** | **14.12** | **15.4** | **16.6** | **17.10** | **18.4** |
| **4** | **9.5** | **10.5** | **11.22** | **12.13** | **14.16** | **15.5** | **16.9** | **17.12** | **18.5** |
| **5** | **9.6** | **10.6** | **11.26** | **12.15** | **14.17** | **15.6** | **16.10** | **17.11** | **18.6** |
| **6** | **9.7** | **10.7** | **11.36** | **12.50** | **14.18** | **15.10** | **16.11** | **17.16** | **18.7** |
| **7** | **9.8** | **10.8** | **11.26** | **13.10** | **14.19** | **15.11** | **16.12** | **17.17** | **18.8** |
| **8** | **9.9** | **10.9** | **11.37** | **13.17** | **14.20** | **15.12** | **16.13** | **17.18** | **18.9** |
| **9** | **9.10** | **10.10** | **11.46** | **13.20** | **14.21** | **15.14** | **16.16** | **17.20** | **18.10** |

**9.1.** Найти силу F притяжения между ядром атома водорода и электроном. Радиус атома водорода $r = 0{,}5 \cdot 1010$ м; заряд ядра равен по модулю и противоположен по знаку заряду электрона.(Ответ: $F = 9{,}23 \cdot 10^{-8}$н)

**9.2.** Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 20 см друг от, друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии $r\ 2$ нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия?

(Ответ:$r = 8{,}94 \cdot 10^{-2}$м)

**9.3.** Во сколько раз сила ньютоновского притяжения между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания? Заряд протона численно равен заряду электрона.

(Ответ:В $1{,}25 \cdot 10^{36}$ раза.)

**9.4.** Найти силу F электростатического отталкивания между ядром атома натрия и бомбардирующим его протоном, считая, что протон подошел к ядру атома натрия на расстояние$r = 6 - 10 - 2$ м. Заряд ядра натрия в 11 раз больше заряда протона. Влиянием электронной оболочки атома натрия пренебречь.

(Ответ:$F = 0{,}7$н)

**9.5.** Два металлических одинаково заряженных шарика массой т=0,2 кг каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Найти заряд q шариков, если известно, что на этом расстоянии энергии их электростатического взаимодействия в миллион раз больше энергии их гравитационного взаимодействия.

(Ответ: $q = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ )

**9.6.** Во сколько раз энергия электростатического взаимодействия двух частиц с зарядом q и массой м каждая больше энергии их гравитационного взаимодействия? Задачу решить для: а) электронов; и б) протонов.

(Ответ: 1)$\frac{W_{эл}}{W_{гр}} = 4{,}17 \cdot 10^{42}$; 2) $\frac{W_{пр}}{W_{гр}} = 1{,}24 \cdot 10^{36}$

**9.7.** Найти напряженность E электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами $q_1 = 8 \cdot 10 - 9$ к и $q_2 = -6 \cdot 10 - 9$ к. Расстояние между зарядами равно r = 10 см; ε=1.

(Ответ: $E = 5{,}04 \cdot 10^4$ в/м)

**9.8.** В центр квадрата, в каждой вершине которого. Находится по заряду 7 СГСq, помещен отрицательный заряд q. Найти этот заряд, если на каждый заряд q действует результирующая сила F=0.

(Ответ: $q = -2{,}23 \cdot 10^{-9}$ к)

**9.9.** Два заряженных шарика одинакового радиуса и веса, подвешенные на нитях одинаковой длины, опускаются в жидкий диэлектрик, плотность которого $\rho_1$ и диэлектрическая проницаемость $\varepsilon$. Какова должна быть плотность $\rho$ материала шариков, чтобы углы расхождения нитей в воздухе и в диэлектрике были одинаковыми?

(Ответ: $\rho = \frac{\varepsilon \rho_1}{\varepsilon - 1}$)

**9.10.** С какой силой (на единицу площади) отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда в $3 \cdot 10^{-8}$ к/см$^2$?

(Ответ: $\frac{F}{s} 5{,}1 \cdot 10^3$ н/м$^2$)

**10.1.** Ток в проводнике меняется со временем t. По уравнению $I = 4 + 2t$, где *I* – выражено в амперах и *t* – в секундах. 1) Какое количество электричества q проходит через поперечное сечение проводника за время от $t_1 = 2$ сек до $t_2 = 6$ сек ? При каком постоянном токе через поперечное сечение проводника за то же время проходит такое же количество электричества?

(Ответ: *1)* $q = \int_{t^1}^{t^2} I\,dt = \int_{t^1}^{t^2} (4 + 2t)\,dt = 48$ к; *2)* $I = 12a$.*)*

**10.2.** Ламповый реостат состоит из пяти электрических лампочек сопротивлением

r = 350 Ом, включенных параллельно. Найти сопротивление R реостата, когда: а) горят все лампочки; б) вывинчиваются одна, две, три, четыре лампочки.

(Ответ: 1) $R = 70$ ом; 2)а)87,5 ом б)116,7 ом; в) 175 ом; г)350 ом).

**10.3.** Сколько витков ни хромовой проволоки диаметром $d = 1$ мм надо навить на фарфоровый цилиндр радиусом $a = 2{,}5$ см, чтобы получить печь сопротивлением R=40Ом?

(Ответ: $N = 200$ витков.)

**10.4.** Катушка из медной проволоки имеет сопротивление $R = 10{,}8$ Ом. Масса медной проволоки mg = 3,41 кг. Какой длины $\ell$ и какого диаметра *d* проволока намотана на катушке?

(Ответ: $l = 500$ м; $d = 10^{-3}$ м $= 1$ мм.)

**10.5.** Найти сопротивление R железного стержня диаметром $d = 1$ см, если масса стержня m = 1 кг.

(Ответ: $R = 0{,}0018$ ом.)

**10.6.** Медная и алюминиевая проволоки имеют одинаковую длину *l* и одинаковое сопротивление *R*. Во сколько раз медная проволока тяжелее алюминиевой?

(Ответ: В 2,22 раза.)

**10.7.** Вольфрамовая нить электрической лампочки при $t_1 = 20^\circ$ С имеет сопротивление $R_1 = 35{,}8$ Ом. Какова будет температура $t_2$ нити лампочки, если при включении в сеть напряжением U=120 В по нити идет ток $I = 0{,}33$ А? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама $a = 4{,}6 \cdot 10^{-3}$К$^{-1}$

(Ответ: $R_0 = 32{,}8$ $R_2 = 364$ Ом $t_2 = 2200^0$С)

**10.8.** Реостат из железной проволоки, амперметр и генератор включены последовательно. При $t_0 = 0^\circ$ С сопротивление реостата $R_0 = 120$ Ом, сопротивление амперметра $R_{A0} = 20$ Ом. Амперметр показывает ток $I_0 - 22$ мА. Какой ток *I* будет показывать амперметр, если реостат нагреется на $\Delta T = 50$ К? Температурный коэффициент сопротивления железа $a = 6 \cdot 10^{-3}$К$^{-1}$.

(Ответ: 17,5 *милиампер.*)

**10.9.** Обмотка катушки из медной проволоки при $t_1 = 14$ °С имеет сопротивление

$R_1 = 10$ Ом. После пропускания тока сопротивление обмотки стало равным

$R_2 = 12{,}2$ Ом. До какой температуры *t2* нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди $\alpha = 4{,}15 \cdot 10^{-3}$К$^{-3}$.

(Ответ: до температуры $t = 70^\circ C$.)

**10.10.** Найти падение потенциала U на медном проводе длиной $l = 500$ м и диаметром $d = 2$ мм, если ток в нем $I = 2$ А.

(Ответ: $U = 5{,}4$ *В*)

**11.9.** Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии $d - 10$ см друг от друга. По проводникам текут токи $I_1 = I_2 = 5$ А в противоположных направлениях. Найти модуль и направление напряженности Н магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии, $a = 10$ см от каждого проводника.

(Ответ: *H = 8 а/м*)

**11.10.** По длинному вертикальному проводнику сверху вниз идет ток $I = 8$ А. На каком расстоянии а от него напряженность поля, получающегося от сложения земного магнитного поля и поля тока, направлена вертикально вверх? Горизонтальная составляющая напряженности земного поля $H_г = 0{,}2$ э.

(Ответ: $r = \frac{I}{2\pi H_г} = 0{,}08$ м.)

**11.15.** Ток $I = 20$ А идет по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти напряженность магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $a = 10$см.

(Ответ: $H = 77{,}3\ a/м$)

**11.16.** Ток *I* =20 А, протекая по кольцу из медной проволоки сечением S = 1,0 мм2, создает в центре кольца напряженность магнитного поля H = 2,24 А/м. Какая разность потенциалов U приложена к концам проволоки, образующей кольцо?

(Ответ: $U = \frac{\pi \rho I^2}{SH} = 0{,}12$ В)

**11.22.** Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка R = 2 см, токи в витках $I_1 = I_2 = 5A$. Найти напряженностьН магнитного поля в центре этих витков.

(Ответ:$H = 177$ А/м)

**11.26..** Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводу идет ток $I = 5$ А. Найти радиус R витка, если напряженность магнитного поля в центре витка H = 41 А/м.

(Ответ: $r = 8 \cdot 10^{-2}$м)

**11.36.** В однородном магнитном поле напряженностью $H = 1000$ кА/м помещена квадратная рамка, плоскость которой составляет с направлением магнитного поля угол ∝ = 45°. Сторона рамки, a=4 см. Найти магнитный поток Ф, пронизывающий рамку.

(Ответ:$Ф = 1{,}13 \cdot 10^{-4}$вб)

**11.37.** В магнитном поле, индукция которого $B = 0{,}05$ Тл, вращается стержень длиной *l*=1 м. Ось вращения, проходящая через один из концов стержня, параллельна направлению магнитного поля. Найти магнитный поток Ф, пересекаемый стержнем при каждом обороте.

(Ответ:$Ф = 0{,}157$вб)

**11.46.**Длина железного сердечника $\ell_1 = 50$ см, длина воздушного зазора $\ell_2 = 2$ мм. Число ампер-витков в обмотке тороида $IN = 2000$ А·в. Во сколько раз уменьшится напряженность – магнитного поля в воздушном зазоре, если при том же числе ампер-витков увеличить длину воздушного зазора вдвое?

(Ответ:*В 1,9 раза*)

**11.50.**Написать уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой

A = 5 см, если за время t = 1 мин совершается 150 колебаний и начальная фаза колебаний $a = 45^0$. Начертить график этого движения.

(Ответ: $x = 5\sin\left(5\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ см)

**12.2.** Написать уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой A =0,1 м, периодом T = 4 с и начальной фазой φ = 0.

(Ответ: $x = 0{,}1 sin\ 0{,}5\pi t$м)

12.3. Написать уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой А =50 мм, периодом Т=4 с и начальной фазой $\varphi = \pi/4$. Найти смещение x колеблющейся точки от положения равновесия при $t = 0$ и $t = 1{,}5$ с. Начертить график этого движения.

(Ответ: 1) $x = 50\sin\left(\frac{\pi t}{2} + \frac{\pi}{4}\right)$ мм; 2) $x_1 = 35{,}2$ мм; $x_2 = 0$.

**12.8** . Через какое время от начала движения точка, совершающая колебательное движение по уравнению $x = 7\sin\frac{\pi}{5}t$ проходит путь от положения равновесия до максимального смещения?

(Ответ: Через *1 сек)*

**12.12.** Точка совершает гармоническое колебание. Период колебаний Т = 2 с, амплитуда $A = 50$ мм, начальная фаза $\varphi = 0$. Найти скорость v точки в момент времени, когда смещение точки от положения равновесия $x = 25$ мм.

(Ответ: $\upsilon = 0{,}136$ м/сек)

**12.13.** Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки $a_{max} = 49{,}3$ см/с$^2$, период колебаний $T = 2$ с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени $t = 25$ мм.

Ответ: $x = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$ м

**12.15.** Уравнение колебания материальной точки массой $m = 1{,}6 \cdot 1{,}2$ кг имеет вид

$x = 0{,}1\sin\left(\frac{\pi}{8}t + \frac{\pi}{4}\right)$м. Построить график зависимости от времени *t* (в пределах одного периода) силы *F,* действующей на точку.

Найти максимальную силу $F_{max}$.

(Ответ: $F_{max} = 24{,}6 \cdot 10^{-5}$Н )

**12.50.** Амплитуда затухающих колебаний математического-маятника за время $t = 1$ мин уменьшилась вдвое. Во сколько раз уменьшится амплитуда за время t = 3 мин?

(Ответ: В 8 раз)

**12.10.** Найти скорость с распространения звука в двухатомном газе, если известно, что при давлении $p = 1{,}01 \cdot 10^5$Па плотность газа $\rho = 1{,}29$ кг/м$^3$.

(Ответ: *υ = 330 м/сек)*

**12.17.** Шум на улице с уровнем громкости $L_1 = 70$ фон слышен в комнате так, как шум с уровнем громкости $L_2 = 40$ фон. Найти отношение $L_1 L_2$ интенсивностей звуков на улице и в комнате.

(Ответ: $\frac{a_1}{a_2} = 1000$ )

**12.20.** На сколько увеличился уровень громкости L1 звука, если интенсивность звука возросла: а) в 3000 раз; б) в 30 000 раз?

(Ответ: *1)* На34,8 *фон 2)* на 44,8 *фон*)

**14.1.** Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 800$ пФ и катушки с индуктивностью L = 2 мГн. На какую длину волны λ настроен контур?

(Ответ: $\lambda = 2500$ м)

**14.3.** Какую индуктивность $L$ надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости C = 2 мкФ получить частоту ν = 1000 Гц? Сопротивление контура пренебречь

(Ответ: $L =$ 12,7мгн)

**14.9.** Найти отношение энергии $W_м/W_{эл}$ магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени T/8.

(Ответ: $\frac{W_м}{W_{эл}} = \frac{\sin^2 \omega t}{\cos^2 \omega t} = 1$)

**14.12** . Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 0{,}405$ мкф, катушки с индуктивностью $L = 10$ мГн и сопротивления $R = 2$ Ом. Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках конденсатора за один период колебаний?

(Ответ: В 1,04 раза)

**14.16.** Катушка длиной $l = 50$ см и площадью поперечного сечения $S = 10$ см$^2$ включена в цепь переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц. Число витков катушки N = 3000. Найти сопротивление R катушки, если сдвиг фаз между напряжением и током $\varphi = 60°$.

(Ответ: $R = 4{,}1$ Ом)

**14.12** . Обмотка катушки состоит из N = 500 витков медной проволоки, площадь поперечного сечения которой $s = 10$ см$^2$. Длина катушки $l = 50$ см, ее диаметр $D = 5$ см. При какой частоте ν переменного тока полное сопротивление Z катушки вдвое больше ее активного сопротивления R?

(Ответ: 300 Гц)

**14.18** . Два конденсатора с емкостями $C_1 = 0{,}2$ мкФ и $C_2 = 0{,}1$ мкФ включены последовательно в цепь переменного тока напряжением $U = 220$ В и частотой

$\nu = 50$ Гц. Найти ток $I$ в цепи и падения потенциала $U_{C1}$ и $U_{C2}$ на первом и втором конденсаторах.

(Ответ: 1) $I = 4{,}6$ мА; 2) $U_1 - 73{,}4$ В, $U_2 - 146{,}6$ В)

**14.19** . Катушка длиной $l = 25$ см и радиусом $r = 2$ см имеет обмотку из $N = 1000$ витков медной проволоки, площадь поперечного сечения которой $s = 1$ мм$^2$. Катушка включена в цепь переменного тока частотой ν = 50 Гц. Какую часть полного сопротивления Z катушки составляют активное сопротивление R и индуктивное сопротивление $X_L$?

(Ответ: 1) 74%; 2) 68%.)

**14.20.** Конденсатор емкостью $C - 20$ мкФ и резистор, сопротивление которого R ==150 Ом, включены последовательно в цепь переменного тока частотой ν=50 Гц. Какую часть напряжения U, приложенного к этой цепи, составляют падения напряжения на конденсаторе $U_c$ и на резисторе $U_R$?

(Ответ: 1) 72,5 %; 2) 68,5%)

**14.21.** Конденсатор и электрическая лампочка соединены последовательно и включены в цепь переменного тока напряжением $U = 440$ В и частотой $\nu = 50$ Гц. Какую емкость C должен иметь конденсатор для того, чтобы через лампочку протекал ток $I$ = 0,5 A и падение потенциала на ней было равным $U_л = 110$ В?

(Ответ: $C = 3{,}74$ мкф)

**15.1** .Горизонтальный луч света падает на вертикально расположенное зеркало. Зеркало поворачивается на угол α около вертикальной оси. На какой угол ϑ повернется отраженный луч?

(Ответ: На 2α)

**15.2.** Радиус кривизны вогнутого зеркала $R = 20$ см. На расстоянии $a_1 = 30$ см от зеркала поставлен предмет высотой $R_1 = 1$ см. Найти положение и высоту $R_2$ изображения. Дать чертеж.

(Ответ: $d_2 = -15$ см и $h = 5$ мм. Изображение действительное, обратное и уменьшенное.)

**15.3.** На каком расстоянии $a_2$ от зеркала получится изображение предмета в выпуклом зеркале с радиусом кривизны R = 40 см, если предмет помещен на расстоянии $a_1 = 30$ см от зеркала? Какова будет высота h2 изображения, если предмет имеет высоту $h_1 = 2$ см? Проверить вычисления, сделав чертеж на миллиметровой бумаге.

(Ответ: $a_2 = 0{,}12$ м, $h = -8$ мм. Изображение мнимое, прямое и уменьшенное.)

**15.4.** Выпуклое зеркало имеет радиус кривизны $R = 60$ см. На расстоянии $a_1 = 10$ см от зеркала поставлен предмет высотой $h_1 = 2$ см. Найти положение и высоту $h2$ изображения. Дать чертеж.

(Ответ: $a_2 = 7{,}5$ см, $h = -1{,}5$ см. Изображение мнимое, прямое и уменьшенное.)

**15.5.** В вогнутом зеркале с радиусом кривизны R = 40 см хотят получить действительное изображение, высота которого вдвое меньше высоты самого предмета. Где нужно поставить предмет и где получится изображение?

(Ответ: $a_1 = 0{,}6$ м, $a_2 = 0{,}3$ м.)

**15.6.** Высота изображения предмета в вогнутом зеркале вдвое больше высоты самого предмета. Расстояние между предметом и изображением $2 + a_1 = 15$ см. Найти фокусное расстояние F и оптическую силу D зеркала.

(Ответ: 1) F = - 10 см; 2) D = - 10 диоптрий.)

**15.10.** Вогнутое зеркало с диаметром отверстия d = 40 см имеет радиус кривизны R = 60 см. Найти продольную $x$ и поперечную y сферическую аберрацию краевых лучей, параллельных главной оптической оси.

(Ответ: x = 1,8 см; y = 1,5 см.)

**15.11.** Имеется вогнутое зеркало с фокусным расстоянием F = 20 см. На каком наибольшем расстоянии h от главной оптической оси должен находиться предмет, чтобы продольная сферическая аберрация $x$ составляла не больше 2% фокусного расстояния F?

(Ответ: h = 8 см.)

**15.12.** Луч света падает под углом *i*=30° на плоскопараллельную стеклянную пластинку и выходит из нее параллельно первоначальному лучу. Показатель преломления стекла n = 1,5. Какова толщина *d* пластинки, если расстояние между лучами *l*=1,94 см?

(Ответ: d = 0,1 м.)

**15.13.** Луч света падает под углом *i* на тело с показателем преломления *n*. Как должны быть связаны между собой величины *i* и *n*, чтобы отраженный луч был перпендикулярен к преломленному?

(Ответ: tgi = n .)

**16.3** При фотографировании спектра звезды Андромеды было найдено, что линия титана ($\lambda = 495{,}4$ нм) смещена к фиолетовому концу спектра на $\Delta\lambda = 0{,}17$ нм. Как движется звезда относительно Земли?

(Ответ: $v = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda} = 103 \cdot 10^3 \text{м/с}$.)

**16.4** Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый светофильтр ($\lambda_1 = 500$ нм) заменить красным, ($\lambda_2 = 650$ нм)?

(Ответ: в 1,3 раза.)

**16.5** В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом (λ = 600 нм). Расстояние между отверстиями *d* = 1мм, расстояние от отверстий до экрана L = 3 м. найти положение трех первых светлых полос.

(Ответ: $y_1 = 1{,}8$ мм $y_2 = 3{,}6$ мм $y_3 = 5{,}4$ .)

**16.6.** В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света d=0,5 мм, расстояние до экрана L=5 м. В зеленом свете получились интерференционные полосы, расположенные на расстоянии *l*=5 мм друг от друга. Найти длину волны λ зеленого света.

(Ответ: $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м.)

**16.9.** На мыльную пленку падает белый свет под углом *I* = 45° к поверхности планки. При какой наименьшей толщине h пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 600$ нм)? Показатель преломления мыльной воды $n = 1{,}33$.

(Ответ: h = 0,13 мкм.)

**16.10.** Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda = 546{,}1$ нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами $l = 2$ см. Найти угол γ клина. Свет падает перпендикулярно к поверхности пленки. Показатель преломления мыльной воды $n = 1{,}33$.

(Ответ: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{k\lambda}{2nl} = 5{,}13 \cdot 10^{-5}$ и $\alpha = 11''$)

**16.11.** Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. Интерференция наблюдается в отраженном свете через красное стекло($\lambda 1$=631 нм). Расстояние между соседними красными полосами при этом $L1$=3 мм. Затем эта же пленка наблюдается через синее стекло ($\lambda 2$=400 нм). Найти расстояние 1% между соседними синими полосами. Считать, что за время измерений форма пленки не изменяется и свет падает перпендикулярно к поверхности пленки.

(Ответ: 1,9 мм.)

**16.12.** Пучок света ($\lambda$ =582 нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина. Угол клина $\gamma$=20". Какое число k0 темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла n = 1,5.

(Ответ: 5 полос на 1 см.)

**16.13** Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы R = 15м. Наблюдение ведется в отраженном свете. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона $l$=9 мм. Найти длину волны $\lambda$ монохроматического света.

(Ответ: $\lambda$ = 6750 Å.)

**16.16.** Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведется в отраженном свете. Расстояние между вторым и двадцатым темными кольцами $l1$=4,8 мм. Найти расстояние $l2$ между третьим и шестнадцатым темными кольцами Ньютона.

(Ответ: 3,6 мм.)

**16.17.** Установка для получения ,колец Ньютона освещается светом от ртутной дуги, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведется» в проходящем свете. Какое по порядку светлое кольцо, соответствующее линии $\lambda 1$ =579,1 нм, совпадает со следующим светлым кольцом, соответствующим линии $\lambda 2$ = 577 нм?

(Ответ: k = 275.)

**16.20.** Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda$ = 600 нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Найти толщину h воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.

(Ответ: 1,2 мкм.)

**17.26** Пучок белого света падает по нормали к поверхности стеклянной пластинки толщиной d = 0,4 мкм. Показатель преломления стекла n = 1,5. Какие длины волн $\lambda$, лежащие в пределах видимого спектра (от 400 до 700 нм.), усиливаются в отраженном свете?

(Ответ: $\lambda$ = 480 нм.)

**17.29**Найти радиусы rk первых пяти зон Френеля, если расстояние от источника света до волновой поверхности расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения a = 1 м. Длина волны света $\lambda$ = 500 нм.

(Ответ:r1 = 0,5 мм, r2 = 0,71 мм, r3 = 0,86 мм, r4 = 1,0 мм, r5 = 1,12 мм.)

**17.35** На щель шириной $a$ = 20 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda$ = 500 нм). Найти ширину A изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние $l$ = 1м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности.

(Ответ: $A = \frac{2l\lambda}{a} = 0{,}05$ м.)

**17.45** На дифракционную решетку нормально падает пучок монохроматического света. Максимум третьего порядка наблюдается под углом φ= 36°48' к нормали. Найти постоянную $d$ решетки, выраженную в длинах волн падающего света.

(Ответ: $\frac{d}{\lambda} = \frac{3}{\sin\varphi} = 5$, т.е $d = 5\lambda$.)

**17.63** Пучок поляризованного света (λ= 589нм) падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно к его оптической оси. Найти длины волн λo и λe обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле, если показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и для необыкновенного лучей равны no = 1,66 иne = 1,49.

(Ответ: Имеем $\lambda_o = \frac{\lambda}{n_o} = 355$ нм, $\lambda_e = \frac{\lambda}{n_e} = 395$ нм.)

**17.64.** Найти угол φ между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, проходящего через поляризатор и анализатор, уменьшается в 4 раза.

(Ответ: $\cos^2\varphi = 0{,}5$ и $\varphi = 45^o$)

**18.1.** Найти температуру Т печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью S=6,1 см2 имеет мощность $N$ =34,6 Вт. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

(Ответ:Т = 1000оК.)

**18.2.** Какую мощность излучения $N$ имеет Солнце? Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела. Температура поверхности Солнца

$T$= 5800 К.

(Ответ: $W = 6.5 \cdot 10^{21}$ квт − ч)

**18.3.** Какую энергетическую светимость R3 имеет затвердевающий свинец? Отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела для данной температуры k=0,6.

(Ответ:W = 0,46дж.)

**18.4.** Мощность излучения абсолютно черного тела N = 34 кВт. Найти температуру $T$ этого тела, если известно, что его поверхность S = 0,6 м2.

(Ответ:Т = 1000оК.)

**18.5.** Мощность излучения раскаленной металлической поверхности $N$ =0,67 кВт. Температура поверхности $T$ = 2500 К, ее площадь S = 10 см2. Какую мощность излучения $N$ имела бы эта поверхность, если бы она была абсолютно черной? Найти отношение кэнергетических светимостей этой поверхности и абсолютно черного тела при данной температуре.

(Ответ: 1) $W = 1{,}33 \cdot 10^5$дж; 2) k = 0,3.)

**18.6.** Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке d = 0,3 мм, длина спирали *l*=5 см. При включении лампочки в сеть напряжением U = 127 В через лампочку течет ток *I*=0,31 А. Найти температуру *T* спирали. Считать, что по установлении равновесия все выделяющееся в нити тепло теряется в результате излучения. Отношение энергетических светимостей вольфрама и абсолютно черного тела для данной температуры к = 0,31.

(Ответ:Т = 2500оК.)

**18.7.** Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной электрической лампочке

*T* = 2450 К. Отношение ее энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре к = 0,3. Найти площадь S излучающей поверхности спирали.

(Ответ:$S = 4 \cdot 10^{-5}$м$^2$)

**18.8.** Найти солнечную постоянную К, т. е. количество лучистой, энергии, посылаемой Солнцем в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную к солнечным лучам и находящуюся на таком же расстоянии от него, как и Земля. Температура поверхности Солнца Т = 5800 К. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

(Ответ: $W_0 = 1{,}37 \cdot 10^3 \frac{\text{вт}}{\text{м}^2} = 8{,}21 \frac{\text{д}}{\text{мин}} \cdot \text{см}^2 = 1{,}96\ \text{кал/мин} \cdot \text{см}^2$.)

W0 = 1,37· 10 3вт/м2 = 8,21 дж/мин·см2 = 1,96 кал/мин·см2

**18.9.** Считая, что атмосфера поглощает 10% лучистой энергии, посылаемой Солнцем, найти мощность излучения *N*, получаемую от Солнца горизонтальным участком Земли площадью S = 0,5 га. Высота Солнца над горизонтом φ = 30°. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

(Ответ:$N = 3{,}1 \cdot 10^3$ квт.)

**18.10.** Зная значение солнечной постоянной для Земли (см. задачу 18.8), найти значение солнечной постоянной для Марса.

(Ответ:$W_0 = 0{,}85$кал/мин $\cdot$ см$^2$.)

## Приложения

### 1. Обозначения и название единиц.

| | | |
|---|---|---|
| А – ампер<br>В – вольт<br>Вб – вебер<br>Вт – ватт<br>Гн – генри<br>Г – грамм<br>Гс – гаусс<br>Гц – герц | Дин – дина<br>Дж – джоуль<br>К – кельвин<br>Кл – кулон<br>М – метр<br>Мин – минута<br>Мкс – максвелл<br>Н – ньютон | Рад – радиан<br>С – секунда<br>См – Сименс<br>Тл – тесла<br>Ф – фарад<br>Ч – час<br>Э – эрстед<br>эВ - электроновольт |

### 2. Десятичные приставки к названиям единиц

| | | |
|---|---|---|
| Т – тера, 1012<br>Г – гига, 109<br>М – мега, 106<br>к – кило, 103<br>г – гекто, 102 | да – дека, 101<br>д – деци, 10 -1<br>с – санти, 10 -2<br>м – милли, 10 -3<br>мк– микро, 10 -6 | н– нано, 10-9<br>п – пико, 10 -22<br>ф – фемто, 10 -15<br>а – атто, 10 -18 |

*Примеры:* мкКл – микрокулон, 10 -6 Кл; пФ – пикофарад, 10 -12 Ф; мГн – миллигенри, 10 -3 Гн; МэВ – мегаэлектронвольт, 106 эВ.

### 3. Единицы электрических и магнитных величин в СИ и системе Гаусса

| *Величина* | *Обозначение* | *Единица величины* | | *Отношение* ед. Си / ед. СГС |
|---|---|---|---|---|
| | | СИ | СГС | |
| Сила | *F* | Н | дин | 105 |
| Работа, энергия | *A, W* | Дж | эрг | 107 |
| Заряд | *q* | Кл | ед. СГСЭ А | 3 · 105 |
| Длина волны | *λ* | М | | |
| Расстояния заряда | *μ* | И | | |
| Напряженность электрического поля | *E* | В/м | ед. СГСЭ | 1/(3 · 104) |
| Потенциал напряжения | φ, *U* | В | ед. СГСЭ | 1/300 |
| Электрический момент | *P* | Кл · м | ед. СГСЭ | 3 · 1011 |
| Емкость | *C* | Ф | см | 9 · 1011 |
| Сила тока | *I* | А | ед. СГСЭ | 3 · 109 |
| Плотность тока | *j* | А/м2 | ед. СГСЭ | 3 · 105 |
| Сопротивление | *R* | Ом | ед. СГСЭ | 1/(9 · 1011) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Удельное сопротивление | *Р* | Ом · м | ед. СГСЭ | 1/(9 · 109) |
| Проводимость | *Σ* | См | ед. СГСЭ | 9 · 1011 |
| Удельная проводимость | *σ* | См/м | ед. СГСЭ | 9 · 109 |
| Магнитная индукция | *В* | Тл | Гс | 104 |
| Магнитный поток, потокосцепление | *Ф, Ψ* | Вб | Мкс | 108 |
| Магнитный момент | *pm* | А · м2 | ед. СГСМ | 103 |
| Индуктивность | *L* | Гн | см | 109 |

## 4. Основные формулы электромагнетизма в СИ и системе Гаусса

| ***Наименование*** | ***СИ*** | ***Система Гаусса*** |
|---|---|---|
| Поле Е точечного заряда | $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$ | $E = \frac{q}{r^2}$ |
| Поле Е в плоском конденсаторе и у поверхности проводника | $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$ | $E = \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon}$ |
| Потенциал поля точечного заряда | $\varphi = \frac{I}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$ | $\varphi = \frac{q}{r}$ |
| Электрическое сопротивление проводника | $R = \rho\frac{l}{s}$ | |
| Электрический момент диполя | $p = ql$ | |
| Емкость конденсатора | $C = q/U$ | |
| Емкость плоского конденсатора | $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{h}$ | $C = \frac{\varepsilon S}{4\pi/h}$ |
| Поле **В:** | | |
| А) прямого тока | $B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2I}{b}$ | $B = \frac{1}{c}\frac{2I}{b}$ |
| Б) в центре витка | $B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\pi I}{R}$ | $B = \frac{1}{c}\frac{2\pi I}{R}$ |
| В) в соленоиде | $B = \mu_0 nI$ | $B = \frac{4\pi}{c}nI$ |
| Закон Ома | $J = \frac{U}{R}$ | $\varepsilon = j(R + r) > jR + jr = U + jr$ |
| Сила взаимодействия параллельных токов | $F_{ед} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2I_1 I_2}{b}$ | $F_{ед} = \frac{2I_1 I_2}{b}$ |
| Э.Д.С индукции | $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ | $\varepsilon_i = -\frac{I}{c}\frac{d\Phi}{dt}$ |
| Индуктивность | $L = \Phi/I$ | $L = c\Phi/I$ |
| Индуктивность соленоида | $L = \mu\mu_0 n^2 V$ | $L = 4\pi\mu n^2 V$ |

| | | |
|---|---|---|
| Э.Д.С самоиндукции | $\mathcal{E}_s = -L\frac{dI}{dt}$ | $\mathcal{E}_s = -\frac{1}{c^2}L\frac{dI}{dt}$ |
| Энергия магнитного поля тока | $W = \frac{LI^2}{2}$ | $W = \frac{1}{c}\frac{LI^2}{2}$ |
| Плотность энергии магнитного поля | $w = \frac{BH}{2}$ | $w = \frac{BH}{8\pi}$ |
| Правило Кирхгофа | $\Sigma J_{bx} = \Sigma J_{bnx}$ | $\Sigma J = 0$ |
| ***Наименование*** | **СИ** | |
| Закон Джоуля – Ленца | $A = Q = JUT = J^2RT$ | |
| Мощность электрического тока | $P = \mathcal{E}J = (JR + Jr)\cdot J = (U + Jr) = J^2R + J^2r = J^2(R + r)$ | |
| Закон Фарадея | $m = kq = \frac{A}{nF}q = \frac{A}{nF}Jt$ | |
| Закон Био-савара-Лапласа | $\Delta b = \frac{MM_0}{4\pi r^2}J\Delta l \sin\alpha$ | |
| Емкость плоского конденсатора | $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ | |
| Емкость сферического конденсатора | $c = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 Rr}{R - r}$ | |
| Емкость шара | $c = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r$ | |
| Магнитная проницаемость среды | $B = \frac{MM_0J}{2\pi R}$ | |
| Закон Ампера | $F = J\,l\,B\sin(\vec{l},\vec{B})$ | |
| Закон электромагнитной индукции Фарадея | $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ | |
| Энергия магнитного поля | $W = \frac{J\Phi}{2} = \frac{LJ^2}{2}$ | |
| Индукция магнитного поля в центре кругового тока | $B = MM_0\frac{J}{2R}$ | |
| Магнитный момент витка с током | $P_m = JS = J\Pi R^2$ | |
| Уравнение гармонического колебания | $x = A\sin(\omega t + \varphi)$ или $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ | |

## 5. Некоторые физические постоянные

| | |
|---|---|
| Скорость света в вакууме | $c = 2{,}998 \cdot 10^8$ м/с |
| Гравитационная постоянная | $\gamma = \begin{cases} 6{,}67 \cdot 10^{-11} \text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2) \\ 6{,}67 \cdot 10^{-8} \text{см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2) \end{cases}$ |
| Ускорение свободного падения | $g = 9{,}807$ м/с$^2$ |
| Постоянная Авогадро | $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ |
| Элементарный заряд | $e = \begin{cases} 1{,}602 \cdot 10^{-10} \text{ Кл} \\ 4{,}80 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ} \end{cases}$ |
| Масса электрона | $m_e = 0{,}911 \cdot 10^{-30}$ кг |
| Удельный заряд электрона | $\dfrac{e}{m_e} = \begin{cases} 1{,}76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг} \\ 5{,}27 \cdot 10^{17} \text{ СГСЭ/г} \end{cases}$ |
| Масса протона | $m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг |
| Электрическая постоянная | $\varepsilon_0 = 0{,}885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м<br>$\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ м/Ф |
| Магнитная постоянная | $\mu_0 = 1{,}257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м |
| Связь между скоростью света и постоянными $\varepsilon_0$ и $\mu_0$ | $\dfrac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ Гн/м<br>$c = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ |

## Литература


1. Савельев И.В Курс общей физики. В 3х т. – М.: Наука, 1977-1989 гг.
2. Детлав А.А. Яворский В.М. Милковская Л.Б. Курс физики В 3х т. – М.: Высшая школа, 1973-1989 гг.
3. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсы физики. – М.: Наука 1979-1990 гг.
4. Трофимова Т.И. Курс общей физики. – М.: Высшая школа, 1985.
5. Прокофьев В.Л Физика. Программы, методические указания и контрольные задания для студентов заочников технологических и инженерно – экономических специальностей высших учебных заведений. – М.: Высшая школа, 1985.
6. Чертов А. Е. Воробьев А. А. Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 1981.
7. Байбосунов М.Б Электричество и магнетизм, колебания и волновая оптика. Курс лекций с примерами решения задач. Бишкек, 2010.