

Белорусский национальный технический университет
Факультет Международный институт дистанционного образования
Кафедра «Информационные системы и технологии»

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора

_____ М. Г. Карасева

22 февраля 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Директор

_____ М. А. Седнина

22 февраля 2021 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

ФИЗИКА

для специальности:

1-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий»

Составители:

Бояршинова Оксана Александровна, к.ф.-м.н., зав. кафедрой

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета МИДО
протокол № 7

22 февраля 2021 г.

Перечень материалов

Конспект лекций, материалы для практических занятий и контрольных заданий, материалы текущей и итоговой аттестации, вспомогательный раздел.

Пояснительная записка

Цели данного ЭУМК – повышение эффективности организации учебного процесса с использованием дистанционных технологий; предоставление возможности студентам заниматься самообразованием, пользуясь комплектом учебно-методических материалов по дисциплине «Физика».

ЭУМК содержит четыре раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел представлен конспектом лекций. Лекционный материал подготовлен в соответствии с основными разделами и темами учебной программы.

Практический раздел представлен сборником задач, которые предполагается использовать для формирования заданий контрольной работы и самостоятельного решения студентами.

Раздел контроля знаний включает требования к оформлению контрольной работы, распределение задач по вариантам контрольной работы и вопросы к экзамену.

Вспомогательный раздел представлен учебной программой, списком рекомендуемой литературы, справочными материалами.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ.....	5
Конспект лекций.....	5
РАЗДЕЛ 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ.....	64
Задачи для практических занятий и контрольной работы.....	64
РАЗДЕЛ 3. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.....	93
Методические указания по выполнению контрольной работы.....	93
Варианты контрольной работы.....	94
Образец оформления титульного листа.....	95
Вопросы к экзамену.....	96
РАЗДЕЛ 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ.....	98
Учебная программа.....	98
Справочные материалы.....	104

ВВЕДЕНИЕ

Уважаемые студенты! Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Физика» создан Вам в помощь для работы на занятиях, при выполнении Вами контрольной работы и подготовки к текущему и итоговому контролю по дисциплине.

Настоящий ЭУМК представляет собой комплекс учебных материалов, состоящий из краткого конспекта лекций, сборника задач, рабочей программы, которая содержит вопросы, изучаемые в курсе физики; требований к оформлению контрольной работы, предусмотренной учебным планом, распределения задач, по вариантам контрольной работы. Задачи приведенные в ЭУМК, составлены таким образом что могут быть использованы в качестве самообучения, разбиты на тематические блоки, к которым в конспекте лекций приведены теоретические сведения, достаточные для того, чтобы Вы смогли самостоятельно решать задачи.

Задачи, включенные в контрольную работу, разбиты на двадцать вариантов, количество и номера решаемых задач (столбиков) преподаватель выдает на установочном занятии в начале учебного семестра. Номер варианта, который должен выполнить студент совпадает с последними цифрами номера зачетной книжки студента. Задачи контрольной работы составлены таким образом, чтобы охватить максимальное количество вопросов, изучаемых в данном курсе физики. Задачи, не включенные в контрольную работу, а также задачи других вариантов дополняют друг друга и будут способствовать более глубокому пониманию изучаемых явлений и законов, а также развитию логического мышления.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, Вы должны внимательно изучить список рекомендованной основной и вспомогательной литературы. Из всего массива рекомендованной литературы следует опираться на литературу, указанную как основную.

По итогам изучения дисциплины проводится экзамен.

В результате изучения учебной дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основные понятия, законы и физические модели электричества и магнетизма, колебаний и волн, а также волновой оптики;
- новейшие достижения в области физики и перспективы их использования для развития материальной базы информатики;

уметь:

- использовать основные законы физики в инженерной деятельности при разработке новых методов записи, хранения и передачи информации;
- использовать методы теоретического и экспериментального исследования при решении физических задач информатики;
- использовать методы численной оценки порядка величин, характерных для различных прикладных разделов информатики;

владеть:

- методами экспериментальной и теоретической физики в целях разработки физических основ устройств записи, хранения и передачи информации;
- физическими принципами кодирования информации в различных информационных системах;
- навыками работы по оценке состояния и тенденций развития носителей информации.

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический заряд q — скалярная физическая величина, являющаяся количественной мерой способности тел вступать в электромагнитное взаимодействие.

$$[q] = \text{Кл}$$

Свойства электрического заряда:

1. Существуют положительные (например, у протона, позитрона) и отрицательные заряды (например, у электрона).

2. Заряды одного знака отталкиваются, разных знаков — притягиваются друг к другу. Впервые это установлено в 1733 – 1734 г. французским физиком Ш.Ф. Дюфе, им сконструирован первый электростатический прибор – прототип электроскопа.

3. Электрические заряды не существуют сами по себе, а являются внутренними свойствами элементарных частиц – электронов, протонов и др. Опытным путем в 1914 г. американский физик Р. Милликен показал, что электрический заряд дискретен. Заряд любого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$

$$q = \pm Ne,$$

где N – целое число. Электрон и протон являются соответственно носителями элементарных отрицательного и положительного зарядов. Если физическая величина может принимать только определенные дискретные значения, то говорят, что эта величина квантуется.

4. Инвариантность заряда. Значение заряда, измеряемое в различных инерциальных системах отсчета, оказывается одинаковым. Следовательно, электрический заряд является релятивистски-инвариантным. Отсюда вытекает, что значение заряда не зависит от того, движется этот заряд или покоится.

Закон сохранения заряда в замкнутой системе

$$\sum_i q_i = \text{const.}$$

Закон, который позволяет найти силу взаимодействия точечных зарядов, установлен экспериментально в 1785 году Ш. Кулоном.

Точечный заряд – это заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием от этого тела до других заряженных тел.

Закон Кулона: сила электростатического взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 в вакууме равна:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r},$$

где r – расстояние между зарядами, коэффициент пропорциональности



Ш.Ф. Дюфе
(1698-1739)



Шарль Огюстен Кулон
(1736-1806)

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ — электрическая постоянная.

Если же заряды находятся в некоторой среде с диэлектрической проницаемостью ϵ , сила электростатического взаимодействия станет равной:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^3} \vec{r}.$$

Сила направлена по прямой, соединяющей заряды (рис. 1).

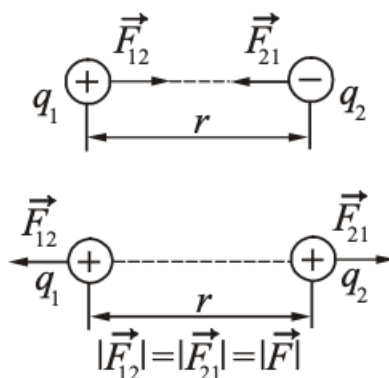


Рисунок 1

Электрическое поле – это материальная среда, существующая вокруг заряженных тел и проявляющая себя силовым действием на заряды. Если электрически заряженные тела или частицы неподвижны в данной системе отсчёта, то их взаимодействие осуществляется посредством электростатического поля. Электростатическое поле является не изменяющимся во времени (стационарным) электрическим полем.

Напряжённость электростатического поля (силовая характеристика поля) векторная физическая величина, которая может быть определена следующим образом

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

где \vec{F} сила, действующая со стороны электрического поля на точечный пробный заряд q , помещенный в рассматриваемую точку поля, к величине этого заряда.

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

На рис. 2 представлены примеры простейших электростатических полей. Принято электростатические поля изображать с помощью так называемых силовых линий. **Силовая линия (линия напряжённости)** – это линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряжённости \vec{E} .

Свойства силовых линий:

1. Силовые линии начинаются на положительных зарядах, заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность. В связи с этим положительные заряды называют источниками поля, а отрицательные стоками поля.
2. Силовые линии не пересекаются.

3. По густоте силовых линий судят о величине напряжённости электростатического поля.

4. Если величина и направление вектора напряжённости поля в каждой точке одинаковы, то поле называется *однородным*. Примером такого поля является поле плоского конденсатора.

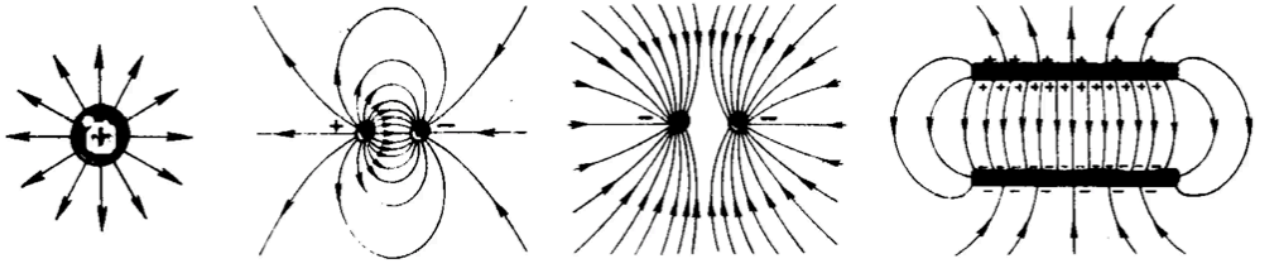


Рисунок 2

Если поле создано системой точечных зарядов для нахождения вектора напряжённости применяют *принцип суперпозиции электрических полей*: напряжённость \vec{E} электрического поля, созданного несколькими электрическими зарядами, равна геометрической сумме напряжённостей \vec{E}_i полей, созданных каждым i -м зарядом в отдельности (рис. 3)

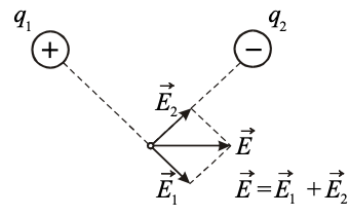


Рисунок 3

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N.$$

Теорема Гаусса

Потоком вектора напряжённости электрического поля через элементарный участок поверхности dS называется величина

$$d\Phi = \vec{E}d\vec{S} = EdS\cos\alpha,$$

где $d\vec{S} = \vec{n}dS$, \vec{n} — единичный вектор перпендикулярный площадке dS , α — угол между направлением \vec{n} и \vec{E} .



Карл Фридрих Гаусс
(1777-1855)

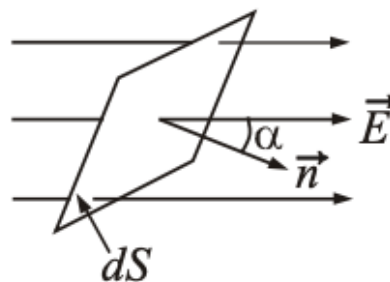


Рисунок 4

Согласно *теореме Гаусса* поток вектора напряжённости сквозь любую замкнутую поверхность равен алгебраической сумме электрических зарядов, заключенных внутри этой поверхности, деленной на электрическую постоянную и диэлектрическую проницаемость ϵ :

$$\oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon\epsilon_0} \sum_i q_i.$$

Теорема Гаусса позволяет найти напряженность поля, созданного такими заряженными телами как:

поле бесконечно длинной нити $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 d}$, где $\tau = \frac{dq}{dl}$ – линейная плотность заряда на

нити, d – расстояние от нити;

поле нити конечной длины, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из середины нити на расстоянии d от нее (формула получена с применением принципа суперпозиции для вектора напряженности электрического поля)

$$E = \frac{\tau \cdot \sin\varphi}{2\pi\epsilon\epsilon_0 d},$$

где φ – угол между направлением нормали к нити и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концу нити;

поле бесконечной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$, где $\sigma = \frac{dq}{dS}$ – поверхностная плотность заряда;

поле, заряженного шара $E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$, где r – расстояние от центра шара, радиус которого R ,

причем $r \geq R$.

Введем дополнительную характеристику электростатического поля

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E},$$

которую называют **вектором электростатической индукции** (электрическим смещением).

В этом случае теорему Гаусса можно записать следующим образом:

$$\oint \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i.$$

Потенциал электростатического поля

Пусть заряд $q_{\text{пр}}$ под действием сил поля перемещается относительно заряда q вдоль некоторой линии (рис. 5). При перемещении из точки 1 в точку 2 совершается работа

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \int_{r_1}^{r_2} k \frac{qq_{\text{пр}}}{\epsilon r^2} dr = \left(k \frac{qq_{\text{пр}}}{\epsilon r_2} - k \frac{qq_{\text{пр}}}{\epsilon r_1} \right).$$

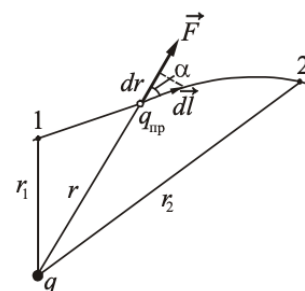


Рисунок 5

Видно что работа по перемещению заряда в электростатическом поле определяется только начальным и конечным положением заряда. Следовательно, кулоновские силы являются консервативными, а электростатическое поле – потенциальным. Работа консервативных сил равна убыли потенциальной энергии.

Величина $W_p = k \frac{qq_{\text{пр}}}{\epsilon r}$ является потенциальной энергией заряда $q_{\text{пр}}$ в поле заряда q .

Потенциал электростатического поля (энергетическая характеристика поля) — скалярная физическая величина, численно равная отношению потенциальной энергии взаи-

действия W пробного точечного электрического заряда, помещенного в рассматриваемую точку поля, с электростатическим полем, к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{W}{q_{\text{пр}}}.$$

Потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом q или равномерно заряженным шаром, на расстоянии r от заряда (центра шара):

$$\varphi(r) = \frac{kq}{r},$$

в случае полого шара, потенциал всех его внутренних точек одинаков и равен потенциалу точек расположенных на его поверхности.

$$[\varphi] = \text{В}$$

При наложении электрических полей их потенциалы алгебраически складываются.

Кроме как силовыми линиями, графически электростатическое поле можно представить с помощью эквипотенциальных линий (поверхностей). **Эквипотенциальная линия (поверхность)** – это геометрическое место точек электростатического поля, потенциалы которых одинаковы.

Работа ΔA , совершаемая кулоновскими силами при перемещении ($\Delta \vec{r}$) точечного заряда q в однородном электростатическом поле, равна уменьшению потенциальной энергии взаимодействия W_p этого заряда с полем:

$$\Delta A = - \Delta W_p = \vec{F} \Delta \vec{r} = q \vec{E} \Delta \vec{r}.$$

Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении электрического заряда по одной и той же эквипотенциальной поверхности, равна нулю.

Потенциальная энергия системы из N зарядов равна:

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i,$$

где φ_i – потенциал, создаваемый в той точке поля, в которой находится заряд q_i , всеми зарядами, кроме i -го.

$$[W_p] = \text{Дж}$$

Связь между напряжённостью электрического поля и потенциалом

Напряжённость электрического поля численно равна изменению потенциала, приходящемуся на единицу длины

$$\vec{E} = - \text{grad} \varphi.$$

Знак « \leftarrow » говорит о том, что вектор напряжённости направлен в сторону убывания потенциала. **Градиент потенциала** (обозначается $\text{grad} \varphi$) – это вектор, направленный в сторону максимального возрастания потенциала и численно равный изменению потенциала, приходящемуся на единицу длины в этом направлении.

Если говорить о взаимном расположении силовой и эквипотенциальной линии, то они в каждой точке перпендикулярны и силовая линия направлена в сторону убыви потенциала.

Электрический диполь

Электрическим диполем называется система из двух равных по модулю электрических зарядов $+q$ и $-q$, находящихся друг от друга на расстоянии l , малом по сравнению с расстоянием до точек, в которых определяется поле диполя.

Прямая, проходящая через оба заряда, называется **осью диполя**. Вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному и численно равный расстоянию между ними, называется **плечом диполя** \vec{l} (рис. 6)

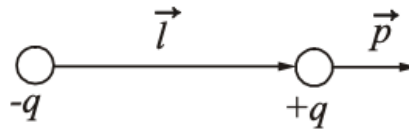


Рисунок 6

Векторную величину $\vec{p} = |q|\vec{l}$ называют дипольным моментом или электрическим моментом диполя.

$$[p] = \text{Кл} \cdot \text{м}$$

Если диполь поместить во внешнее электрическое поле напряжённостью \vec{E} (рис. 7), то заряды $+q$ и $-q$ окажутся под действием равных по величине, но противоположных по направлению сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Модуль каждой силы $F = qE$. При этом вращающий момент этой силы стремится развернуть диполь. Величина этого вращающего момента:

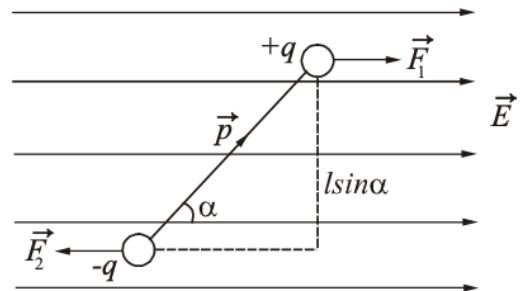


Рисунок 7

$$M = Fl \sin \alpha = qEl \sin \alpha = pE \sin \alpha.$$

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Диэлектрики в электрическом поле

Диэлектрики (изоляторы) – это вещества, не способные проводить электрический ток. Идеальных изоляторов в природе не существует. Согласно молекулярно-кинетической теории все вещества состоят из атомов или молекул. В свою очередь, атомы состоят из положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов, расстояние между которыми очень мало ($\sim 10^{-10}$ м), поэтому атомы и молекулы, находящиеся в электрическом поле, можно рассматривать как диполи. Если диэлектрик внести в электрическое поле, то это поле и сам диэлектрик претерпевают существенные изменения.

Все диэлектрики по своей структуре можно разделить на три группы.

Полярные диэлектрики, молекулы которых имеют ассиметричное строение (NH_3, H_2O, SO_2, CO). Центры тяжести положительных и отрицательных молекул в таких диэлектриках не совпадают. Если напряжённость внешнего электрического поля равна нулю ($\vec{E} = 0$), то молекулы все равно обладают дипольным моментом. Действие внешнего поля на полярную молекулу сводится в основном к стремлению повернуть молекулу так, чтобы ее дипольный момент установился по направлению поля.

Неполярные диэлектрики, молекулы которых имеют симметричное строение ($N_2, H_2, O_2, CH_4, CO_2$). Если внешнее поле отсутствует, то центр тяжести положительных и отрицательных зарядов совпадает и дипольный момент такой молекулы $\vec{p} = 0$.

Ионные кристаллы ($NaCl, NaBr, LiF, LiI$) и др. Механизм ионной поляризации продемонстрирован на рис.8.

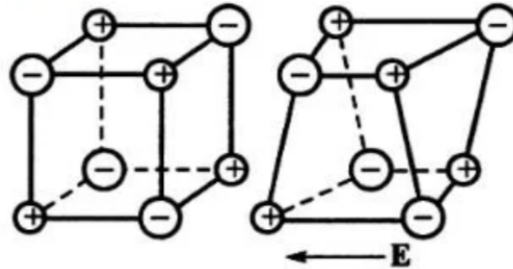


Рисунок 8

Заряды, входящие в состав диэлектрика, называются связанными. Покинуть пределы молекулы связанные заряды не могут. Под действием электрического поля связанные заряды могут лишь сместиться относительно положений равновесия.

В отсутствии внешнего электрического поля суммарный дипольный момент молекул равен нулю $\sum \vec{p}_i = 0$, если же диэлектрик поместить во внешнее электрическое поле возможны следующие изменения:

- Молекулы полярного диэлектрика разворачиваются таким образом что их дипольные моменты устанавливаются по направлению поля (дипольная поляризация);
- Молекулы неполярного диэлектрика растягиваются таким образом что центры масс положительного и отрицательного зарядов перестают находиться в одной точке, что приводит к отличному от нуля дипольному моменту молекул и неравному нулю суммарному дипольному моменту всего диэлектрика

$$\vec{p} = \sum \vec{p}_i,$$

где \vec{p}_i — дипольный момент одной молекулы.

Это означает, что в диэлектрике под действием электрического поля возникают **поляризационные заряды**. Возникновение в диэлектрике поляризационного заряда под действием электрического поля называется **поляризацией диэлектрика**.

Поляризованность (\vec{P}_v) — векторная физическая величина, численно равная дипольному моменту единицы объёма диэлектрика:

$$\vec{P}_v = \frac{1}{\Delta V} \sum \vec{p}_i,$$

где ΔV — физически бесконечно малый объём, взятый вблизи рассматриваемой точки.

В слабых полях поляризованность изотропных диэлектриков пропорционально напряженности электрического поля в той же точке

$$\vec{P}_v = \chi \varepsilon_0 \vec{E},$$

где χ — диэлектрическая восприимчивость среды, величина, характеризующая электрические свойства диэлектрика, безразмерная.

Для поляризации диэлектрика поместим его во внешнее электрическое поле. Для этого воспользуемся полем возникающим между двумя плоскими заряженными пластинами, напряженность которого

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0},$$

где σ — поверхностная плотность заряда на пластинах.

В результате поляризации на левой грани диэлектрика образуется избыток отрицательных поляризационных (связанных) зарядов, а на правой грани — избыток положительных. Эти заряды создают дополнительное электрическое поле напряженностью \vec{E}_i (рис. 9).

Напряженность \vec{E}_i поля связанных зарядов направлена против внешнего поля \vec{E}_0 . Результирующее поле внутри диэлектрика $E = E_0 - E_i$. Отношение

$$\epsilon = \frac{E_0}{E},$$

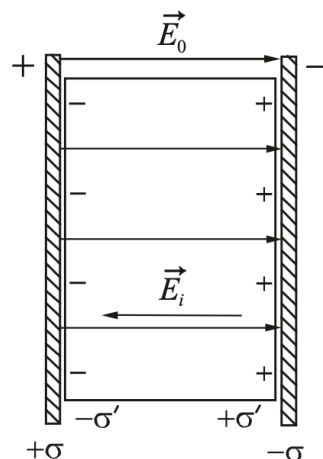


Рисунок 9

показывает, во сколько раз поле внутри однородного диэлектрика меньше чем в вакууме и называется **диэлектрической проницаемостью среды**. Она связана с диэлектрической восприимчивостью соотношением

$$\epsilon = 1 + \chi.$$

Сегнетоэлектрики и их свойства

Свое название сегнетоэлектрики получили от названия минерала — сегнетовой соли $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$, для которой указанные свойства были обнаружены впервые. Свойства сегнетовой соли были подробно исследованы в работах академика И. В. Курчатова и П. П. Кобеко.

Наиболее распространенным сегнетоэлектриком является метатитанат бария $BaTiO_3$. Впервые обнаружены и исследованы сегнетоэлектрические свойства метатитаната бария в 1944 г. академиком Б. М. Вулом. Часто $BaTiO_3$ называют сокращенно титанатом бария.

Сегнетоэлектрики представляют собой кристаллы, обладающие спонтанной поляризацией в некотором температурном интервале. Спонтанная поляризация связана с наличием в кристаллах микроскопических областей самопроизвольной поляризации — **доменов**. Это возможно в том случае, если в ионном кристалле центры распределения положительного и отрицательного заряда ионов, расположенных в одной элементарной ячейке, не совпадают и каждая такая ячейка может рассматриваться как диполь. В каждом домене диполи элементарных ячеек ориентированы одинаково, но сами домены хаотично (рис. 10а) и в целом кристалл не создает в окружающем пространстве электрического поля. Внесение сегнетоэлектрика в электрическое поле приводит к ориентации доменов вдоль линии напряженности (рис. 10б), причем изменение ориентации доменов происходит не плавно, а скачками (Эффект Баркгаузена). В сильном электрическом поле все домены ориентированы вдоль поля, но при уменьшении напряженности внешнего поля до нуля ориентация нарушается. Однако в диэлектрике индуцированная поляризация частично остается из-за того, что многие домены сохраняют созданную внешним полем ориентацию. Для устранения остаточной поляризации сегнетоэлектрик помещают в электрическое поле



И. В. Курчатов
(1902-1960)

противоположного направления, и та напряженность, которая необходима для этого, называется *коэрцитивной силой*.

Сегнетоэлектрики обладают высокими значениями диэлектрической проницаемости $\epsilon \sim 10^3 - 10^4$ и могут быть использованы в изготовлении малогабаритных конденсаторов.

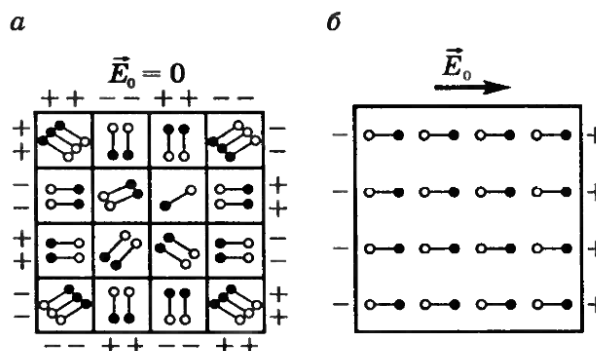


Рисунок 10

При повышении температуры сегнетоэлектрика выше некоторого значения, которое называют *точкой Кюри*, его специфические свойства исчезают и он превращается в обычный полярный диэлектрик. Для каждого сегнетоэлектрика точка Кюри своя. Объясняется это тем, что при температуре Кюри происходит перестройка кристаллической структуры.

Для сегнетоэлектриков характерно явление диэлектрического гистерезиса (рис. 11).

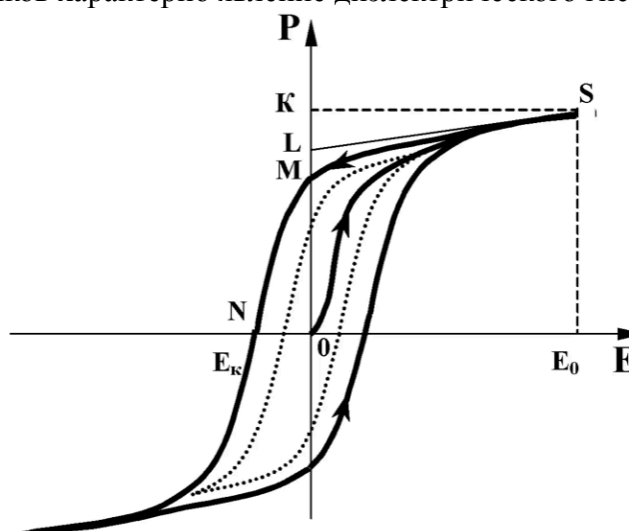


Рисунок 11

Еще одно интересное явление — возникновения поляризационных зарядов при деформации сегнетоэлектрика, название которого прямой *пьезоэлектрический эффект*. Оно было открыто братьями Кюри на кварце, не являющемся сегнетоэлектриком. Как оказалось все сегнетоэлектрики являются пьезоэлектриками, но не все пьезоэлектрики обладают сегнетоэлектрическими свойствами. Существует и обратный эффект — возникновение деформации пьезоэлектрика при помещении его в электрическое поле (обратный пьезоэлектрический эффект).

Проводники в электрической поле

Проводники — вещества, в которых имеются носители заряда, способные перемещаться под действием сколь угодно малой силы.

Внесем проводник в электрическое поле. Под действием поля носители заряда в проводнике начинают перемещаться. В результате их перемещения концы проводника приобретают заряды противоположно знака. Их называют *индуцированными*.

Поле индуцированных зарядов \vec{E}_i противоположно направлению внешнего поля \vec{E}_0 . Перераспределение зарядов происходит до тех пор, пока напряжённость поля внутри проводника не станет равной нулю (рис. 12).

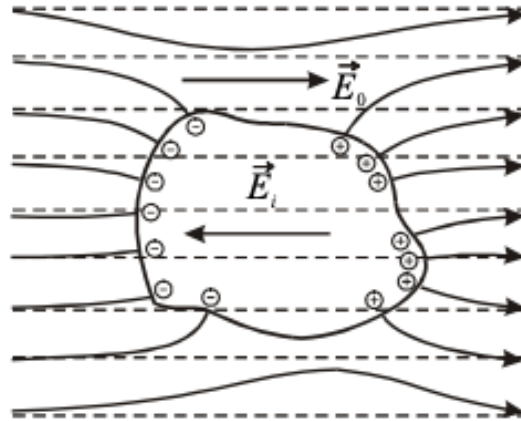


Рисунок 12

Линии напряжённости внешнего поля искривляются вне проводника и становятся перпендикулярными к поверхности. Поэтому в случае равновесия зарядов потенциал φ во всех точках проводника будет иметь одно и то же значение.

Индукцированные заряды распределяются по внешней поверхности проводника. Если внутри проводника сделать полость, то напряжённость поля в этой полости будет равна нулю, независимо от того, какое поле имеется снаружи.

Ёмкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов

Конденсатор – это система из двух проводников, заряженных разноимённо, равными по абсолютному значению зарядами. Проводники расположены близко друг к другу и разделены диэлектриком. Условное обозначение на схемах:



Образующие конденсатор проводники называют обкладками. Чтобы внешние тела не оказывали влияния на ёмкость конденсатора, обкладкам придают такую форму и так их располагают, чтобы поле было сосредоточено внутри конденсатора. Соответственно, по форме конденсаторы бывают: плоские, цилиндрические, сферические.

Ёмкостью конденсатора называют физическую величину, равную

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi},$$

где q – заряд одного из проводников, образующих конденсатор (заряд проводников, образующих конденсатор, одинаков по величине, но противоположен по знаку), $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между проводниками.

Ёмкость плоского конденсатора:

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

где S – площадь обкладок конденсатора, d – расстояние между ними.

Ёмкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

где l – длина цилиндров, из которых изготовлен конденсатор, R_1, R_2 – радиусы внутреннего и внешнего цилиндров конденсатора.

Емкость сферического конденсатора:

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1},$$

R_1, R_2 – радиусы внутренней и внешней сфер конденсатора.

Емкость изолированного шара можно получить, если рассмотреть сферический конденсатор, у которого $R_2 \rightarrow \infty$:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Единица измерения емкости (Ф — фарад). 1Ф — это очень большая величина. Такой ёмкостью обладал бы шар радиуса $R = 9 \cdot 10^9$ м, т.е. радиуса в 1500 раз больше радиуса Земли. Уединённые проводники имеют небольшую ёмкость. Например, шар размером с Землю имеет ёмкость $C = 0,7$ мФ.

Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{1}{2} q \Delta\varphi = \frac{1}{2} C \Delta\varphi^2 = \frac{q^2}{2C}.$$

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{E \cdot D}{2},$$

где $D = \epsilon\epsilon_0 E$ – вектор электрического смещения.

При параллельном соединении общая емкость батареи конденсаторов C_o равна сумме емкостей входящих в нее конденсаторов:

$$\begin{aligned} C_o &= C_1 + C_2 + \dots + C_N, \\ q_o &= q_1 + q_2 + \dots + q_N, \\ U_o &= U_1 = U_2 = \dots = U_N. \end{aligned}$$

При последовательном соединении общая емкость батареи конденсаторов C_o может быть найдена из соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_o} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_N}, \\ q_o &= q_1 = q_2 = \dots = q_N, \\ U_o &= U_1 + U_2 + \dots + U_N. \end{aligned}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток – это направленное движение заряженных частиц. Для протекания тока необходимо наличие в проводнике (или в данной среде) **носителей заряда** – заряженных частиц, которые могут перемещаться в пределах всего проводника. Ими могут быть электроны, ионы или макроскопические частицы, несущие на себе заряд. Ток возникает при условии, что внутри проводника существует электрическое поле.

Ток, возникающий в проводящих средах, называется **током проводимости**. Примером тока проводимости является ток в металлах. Для существования постоянного электрического тока проводимости необходимо выполнение следующих условий:

1. Наличие свободных носителей заряда.
2. Наличие внешнего электрического поля, энергия которого должна расходоваться на упорядоченное перемещение электрических зарядов.
3. Цепь постоянного тока проводимости должна быть замкнутой.

Количественной характеристикой электрического тока является сила тока.

Сила тока I — скалярная физическая величина, численно равная заряду q , протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}.$$

$$[I] = \text{Кл}$$

За направление тока принимается направление перемещения положительных зарядов.

Если сила тока $I = \text{const}$, то $I = \frac{q}{t}$.

Плотность электрического тока j $j = \frac{I}{S}$, где S – площадь поперечного сечения проводника.

Участок цепи, на котором на носители заряда действуют сторонние силы, называют **неоднородным**. Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называют **однородным**. Зависимость силы тока от напряжения называется **вольт-амперной характеристикой** (ВАХ). Для металлов эта зависимость имеет линейный характер.

Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока I в проводнике, находящемся в электростатическом поле, пропорциональна напряжению между концами проводника:

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

где $R = \frac{\rho l}{S}$ – сопротивление проводника, ρ – удельное сопротивление, l – длина проводника.

Электрическое сопротивление (R) – скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать пропусканию электрического тока.

$$[R] = \text{Ом}$$

Удельное сопротивление ρ зависит от температуры, для металлов эта зависимость имеет вид:

$$\rho(t) = \rho_0(1 + \alpha t),$$



Георг Симон Ом
(1789-1854)

где ρ_0 – удельное сопротивление при $t = 0^\circ\text{C}$, α – температурный коэффициент сопротивления характеризует температурную стабильность материала и численно равен относительно-му изменению сопротивления проводника при изменении температуры на 1 К.

Величина G , обратная сопротивлению, называется *электропроводностью*.

$$G = \frac{1}{R}.$$

$$[G] = \frac{1}{\text{Ом}} = \text{См (сименс)}$$

Удельная электрическая проводимость (электропроводность) σ связана с удельным электрическим сопротивлением ρ соотношением:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}.$$

$$[\sigma] = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{См}}{\text{м}}$$

Сопротивление R , участка цепи состоящего из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений этих проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N.$$

При параллельном соединении проводников электропроводность цепи R^{-1} , равна сумме электропроводностей этих проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}.$$

Закон Ома для замкнутой цепи: сила тока I в замкнутой цепи, состоящей из источника тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r и нагрузки с сопротивлением R , равна отношению величины ЭДС к сумме внутреннего сопротивления источника и сопротивления нагрузки:

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

Закон Ома для неоднородного участка цепи (обобщенный закон Ома)

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R + r}.$$

Закон Ома в дифференциальной форме

$$j = \sigma E,$$

где σ – удельная проводимость.

Мощность тока

$$P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R},$$

где A – работа электрического тока на участке цепи.

Полная мощность выделяемая в цепи:

$$P = I\varepsilon = I^2R + I^2r,$$

где R – сопротивление нагрузки, r – внутреннее сопротивление источника тока.

Для разветвленных цепей удобно применять правила Кирхгофа.

Узлом называется точка, в которой сходится более чем два проводника, на рис.13 точка A .

Первое правило Кирхгофа (правило узлов): алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле равна нулю:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = \sum_{i=1}^N I_i = 0.$$

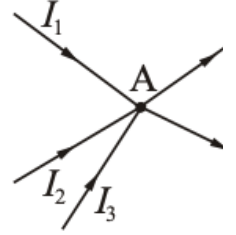


Рисунок 13

Токи считаются положительными, если они подходят к узлу.

Токи, отходящие от узла, считаются отрицательными.

Второе правило Кирхгофа (правило контуров): в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках цепи, равна алгебраической сумме ЭДС встречающихся в этом контуре:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k.$$

Применяя правила Кирхгофа, следует помнить, что число уравнений записываемых при помощи первого правила должно быть $n - 1$, где n – число узлов в разветвленной цепи, причем направления токов в ветвях расставляются произвольным образом, при этом положительными считаются токи, втекающие в узел, отрицательными – токи, вытекающие из узла. Применяя второе правило, обходя контур в произвольном направлении, будем считать положительными те токи, направления которых совпадают с направлением обхода, и отрицательными те, направления которых противоположны направлению обхода. Положительными ЭДС считаются те, которые повышают потенциал в направлении обхода, т. е. ЭДС будет положительной, если при обходе придется идти от минуса к плюсу внутри генератора.

Закон Джоуля-Ленца:

$$dQ = IUdt = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt,$$

где dQ – количество теплоты, выделяющееся на участке цепи с сопротивлением R за время dt .



Джеймс Джоуль
(1818-1889)



Эмилий Ленц
(1804-1865)

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Магнитное поле

В 1820 году датский физик Эрстед обнаружил, что магнитная стрелка, расположенная параллельно прямолинейному проводнику, при пропускании через него постоянного тока I стремится расположиться перпендикулярно проводнику (рис. 14). При изменении направления тока стрелка поворачивалась на 180° . То же самое происходило, когда стрелка переносилась вверх и располагалась над проводом. В том же году А. Ампер установил, что два проводника, расположенные параллельно друг другу, испытывают взаимное притяжение при пропускании через них тока в одном направлении и отталкиваются, если токи имеют противоположные направления. Сила взаимодействия проводников пропорциональна величине токов и обратно пропорциональна расстоянию между ними:

$$F \sim \frac{I_1 I_2}{d},$$

где d — расстояние между проводниками.

Эксперименты показали, что вокруг проводников с током и постоянных магнитов существует **магнитное поле**, которое обнаруживается по его силовому действию на другие проводники с током, постоянные магниты, движущиеся электрические заряды. В отличие от электрического поля магнитное поле не оказывает действия на покоящийся заряд.

Для характеристики способности магнитного поля оказывать силовое действие на проводники с током вводится физическая величина, называемая **вектором магнитной индукции**.

Магнитное поле исследуют с помощью замкнутого контура с током. Контур должен иметь малые размеры по сравнению с расстояниями, на которых магнитное поле заметно изменяется (рис. 15 а). Подводящие проводники сплетают вместе, чтобы результирующая сила, действующая на них со стороны магнитного поля, была равна нулю.

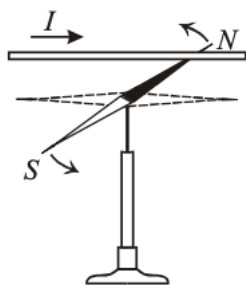


Рисунок 14

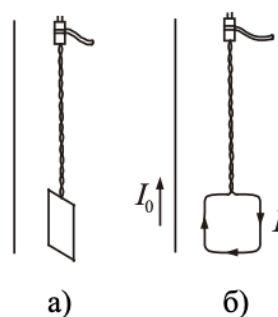


Рисунок 15

Если пропустить ток через рамку и провод, то рамка поворачивается и располагается так, что провод оказывается в плоскости рамки (рис. 15 б). Тело поворачивается под действием момента сил. Если брать разные по площади рамки с разными токами, то моменты сил, действующие на эти рамки в данной точке поля, будут разными. Однако, отношение максимального момента сил к произведению силы тока в рамке на ее площадь будет для данной точки поля одним и тем же. Это отношение принимают в качестве величины, характеризующей магнитное поле, и называют индукцией магнитного поля в данной точке.



Ханс Христиан Эрстед
(1777-1851)

Магнитная индукция (\vec{B}) векторная физическая величина, численно равная отношению максимального момента сил M_{max} , действующего на рамку с током со стороны магнитного поля, к произведению силы тока I в рамке на ее площадь S :

$$B = \frac{M_{max}}{IS}.$$

Из опытов Ампера следует, что на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, пропорциональная силе тока в проводнике и длине проводника. Поэтому можно дать другое определение магнитной индукции.

Магнитная индукция (\vec{B}) векторная физическая величина, численно равная отношению максимального значения силы, действующей на проводник с током, к произведению силы тока I в нем на длину проводника l :

$$B = \frac{F_{max}}{Il}.$$

$$[B] = \frac{H}{A \cdot m} = \text{Тл (тесла)}$$

Вспомогательной величиной, характеризующей магнитное поле является вектор напряженности магнитного поля \vec{H} , связанный с вектором магнитной индукции соотношением:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ — магнитная постоянная, μ — относительная магнитная проницаемость среды.

Магнитная проницаемость среды μ — это физическая величина, показывающая, во сколько раз магнитная индукция поля в данной среде отличается от магнитной индукции поля в вакууме. Для вакуума $\mu = 1$.

Магнитное поле можно представить графически рис. 16

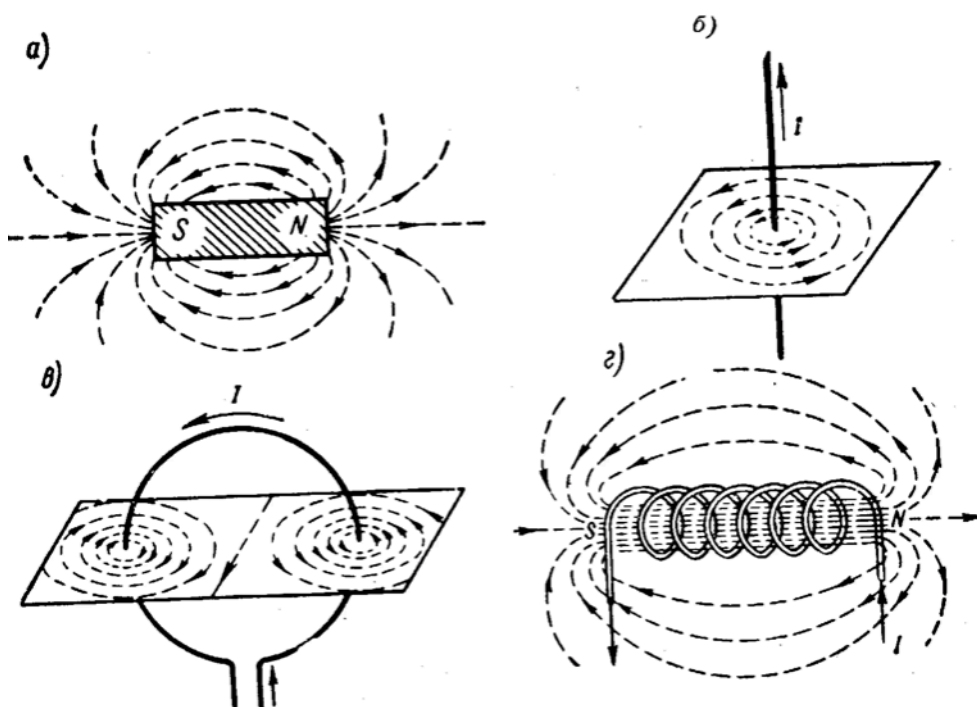


Рисунок 16

Линия, в любой точке которой вектор магнитной индукции \vec{B} направлен по касательной к ней, называется *линией магнитной индукции (силовой линией магнитного поля)*.

Линии индукции магнитного поля ни в одной точке поля не обрываются, они не имеют ни начала ни конца и являются замкнутыми. Векторное поле, имеющее непрерывные силовые линии, называется *вихревым полем*. Магнитное поле – это вихревое поле.

Закон Био-Савара-Лапласа

Движущийся заряд q , создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q}{r^3} [\vec{v}, \vec{r}],$$

где \vec{v} – скорость электрона, \vec{r} – расстояние от электрона до данной точки поля.

По закону Био-Савара-Лапласа элемент контура dl , по которому течет ток I , создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого в некоторой точке K

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} dl,$$

где r – расстояние от точки K до элемента тока dl , α – угол между радиус-вектором \vec{r} и элементом тока dl .

Направление вектора магнитной индукции \vec{B} можно найти по *правилу Максвелла* (буравчика): если ввинчивать буравчик с правой резьбой по направлению тока в элементе проводника, то направление движения рукоятки буравчика укажет направление вектора магнитной индукции \vec{B} .

Применяя закон Био-Савара-Лапласа к контурам различного вида, получим:

- в центре кругового витка радиуса R с током силой I магнитная индукция $B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}$,

- магнитная индукция на оси кругового тока $B = \mu_0 \mu \frac{IR^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}$, где a – расстояние от точки, в которой ищется B до плоскости кругового тока,

- поле, созданное бесконечно длинным проводником с током, на расстоянии r от проводника

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r},$$

- поле, созданное проводником конечной длины, на расстоянии r от проводника (рис. 17)

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

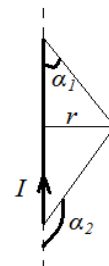


Рисунок 17

- поле внутри тороида или бесконечно длинного соленоида $B = \mu_0 \mu In$, n – число витков на единицу длины соленоида (тороида).

Объемная плотность энергии магнитного поля:

$$\omega = \frac{BH}{2}.$$

Сила Лоренца. Сила Ампера

На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле с индукцией B со скоростью v , со стороны магнитного поля действует сила называемая *силой Лоренца*

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}],$$

причем модуль этой силы равен $F_L = qvB\sin(\vec{v} \wedge \vec{B})$.

Направление силы Лоренца может быть определено по **правилу левой руки**: если поставить левую руку так, чтобы перпендикулярная скорости составляющая вектора индукции входила в ладонь, а четыре пальца были бы расположены по направлению скорости движения положительного заряда (или против направления скорости отрицательного заряда), то отогнутый большой палец укажет направление силы Лоренца (рис. 18)



Хенрик Антон
Лоренц
(1853-1898)

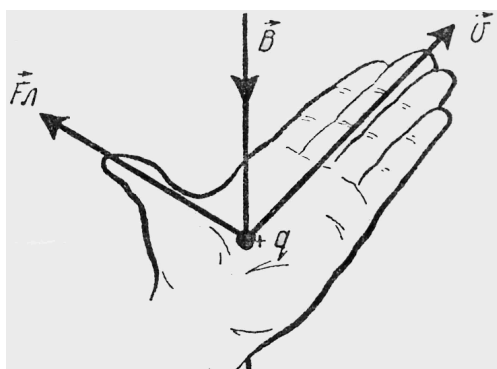


Рисунок 18

Сила Ампера это сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник по которому течет ток I и является результатом обобщения экспериментальных данных

$$d\vec{F}_A = I[d\vec{l}, \vec{B}],$$

dl – элемент длины проводника, причем направление $d\vec{l}$ совпадает с направлением тока в проводнике.

Модуль силы Ампера: $dF_A = IBdl\sin(d\vec{l} \wedge \vec{B})$.

Направление силы dF определяют по правилу векторного произведения. На практике чаще применяют мнемоническое правило левой руки: если расположить ладонь левой руки так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока, то отставленный на 90° большой палец укажет направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют между собой с силой

$$F = \mu_0 \mu \frac{I_1 I_2 \Delta l}{2\pi r},$$

где Δl – длина участка проводника, r – расстояние между проводниками.

Параллельные токи одного направления притягиваются, противоположных направлений — отталкиваются.



Андре Мари
Ампер
(1775-1836)

Ампер – это сила такого неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывал бы между этими проводниками силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ на каждый метр длины проводника.

Теорема Гаусса для магнитного поля

Теорема Гаусса для магнитного поля является обобщением опытных данных, согласно теореме: поток вектора магнитной индукции \vec{B} сквозь любую замкнутую поверхность равен нулю:

$$\oint \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Теорема Гаусса отражает тот экспериментальный факт, что линии вектора \vec{B} не имеют ни начала, ни конца. Поэтому число линий вектора \vec{B} , выходящих из любого объёма, ограниченного *замкнутой* поверхностью S , всегда равно числу линий, входящих в этот объём.

Теорема Гаусса выражает также и тот факт, что в природе не существуют магнитные заряды, на которых начинались бы или заканчивались линии вектора \vec{B} .

Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока

Циркуляцией вектора магнитной индукции \vec{B} по замкнутому контуру l называется интеграл вида:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \oint B dl \cos(\vec{B}, d\vec{l}),$$

где l — замкнутый контур произвольной формы, $d\vec{l}$ — вектор элементарной длины контура, направленный по обходу контура.

Закон полного тока

Циркуляция вектора магнитной индукции \vec{B} в вакууме по произвольному замкнутому контуру l равна произведению магнитной постоянной μ_0 на алгебраическую сумму токов, охватываемых этим контуром.

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^N I_k,$$

где N — число проводников с током, охватываемых контуром l произвольной формы.

При вычислении алгебраической суммы токов ток считается положительным, если его направление связано с направлением обхода по контуру правилом правого винта. Ток противоположного направления считается отрицательным.

Закон полного тока можно сформулировать для напряженности магнитного поля.

Циркуляция вектора напряжённости магнитного поля \vec{H} по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром (рис. 19)

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{k=1}^N I_k.$$

Применим теорему для случая представленного на рисунке

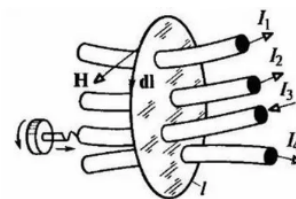


Рисунок 19

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I_1 + I_2 - I_3 + I_4.$$

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Эксперименты показывают, что все вещества являются магнетиками, т.е. способны под действием магнитного поля намагничиваться. Для объяснения намагничивания тел А. Ампер выдвинул гипотезу, согласно которой в молекулах вещества циркулируют круговые (молекулярные) токи. Каждый такой ток обладает магнитным моментом \vec{p}_m и создает в окружающем пространстве магнитное поле. Магнитное поле намагниченного тела складывается из магнитных полей этих круговых токов.

В ненамагниченном теле все элементарные токи расположены хаотически (рис. 20а), поэтому во внешнем пространстве не наблюдается никакого магнитного поля. Процесс намагничивания тела заключается в том, что под влиянием внешнего магнитного поля его элементарные токи в большей или меньшей степени устанавливаются параллельно друг другу (рис. 20б).

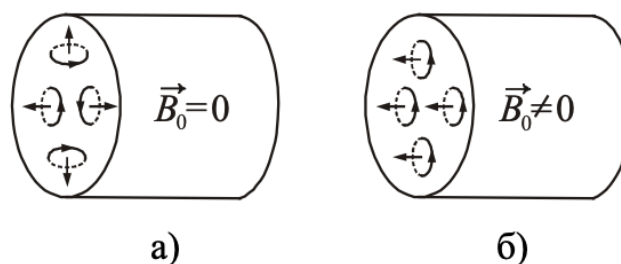


Рисунок 20

В веществе различают два вида токов, создающих магнитное поле – макротоки и микротоки. Макротоками называются токи проводимости. Микротоками (молекулярными) называются токи, обусловленные движением электронов в атомах, молекулах и ионах. Магнитное поле в веществе является векторной суммой двух полей: внешнего магнитного поля, создаваемого макротоками, и внутреннего или собственного магнитного поля, которое создается микротоками.

Вектор магнитной индукции \vec{B} магнитного поля в веществе характеризует результирующее магнитное поле и равен геометрической сумме магнитных индукций внешнего \vec{B}_0 и внутреннего \vec{B}' магнитных полей:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'.$$

Количественно намагничивание характеризуется вектором намагниченности.

Намагниченность \vec{J} – векторная физическая величина, численно равная суммарному магнитному моменту молекул, заключенных в единице объёма.

$$\vec{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{P}_{m_i},$$

где ΔV – физически бесконечно малый объём, взятый вблизи рассматриваемой точки; \vec{P}_{m_i} – магнитный момент отдельной молекулы.

Единица измерения намагниченности совпадает с единицей измерения напряжённости магнитного поля.

Намагниченность изотропных парамагнетиков и диамагнетиков, находящихся в слабых магнитных полях, прямо пропорциональна напряжённости магнитного поля:

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

где χ – **магнитная восприимчивость**. Магнитная восприимчивость зависит от физико-химических свойств материала. Для вакуума $\chi = 0$.

Безразмерная величина $\mu = 1 + \chi$ называется **магнитной проницаемостью** вещества. Она является характеристикой магнитных свойств вещества. Для вакуума $\mu = 1$.

Все магнетики можно разделить на три группы:

Диамагнетики – вещества, у которых магнитная восприимчивость χ отрицательна: $\chi < 0$. Численное значение $\chi \sim 10^{-4} \div 10^{-5}$. Вектор намагниченности \vec{J} диамагнетиков направлен противоположно направлению напряжённости намагничивающего поля \vec{H} . Если диамагнетик поместить в неоднородное магнитное поле, то он выталкивается из поля.

Магнитная проницаемость диамагнетиков $\mu < 1$, но отличие от единицы невелико. К диамагнетикам относятся инертные газы, водород, кремний, висмут, олово, медь, цинк, вода, кварц и многие органические соединения.

Парамагнетики – вещества, у которых магнитная восприимчивость положительна: $\chi > 0$. Численное значение $\chi \sim 10^{-3} \div 10^{-4}$. Направление намагниченности парамагнетиков совпадает с направлением напряжённости намагничивающего поля \vec{H} . Парамагнетики втягиваются в неоднородное магнитное поле.

Магнитная восприимчивость парамагнетиков зависит от температуры и подчиняется закону Кюри:

$$\chi = \frac{C}{T},$$

где C – постоянная Кюри; T – абсолютная температура.

Магнитная проницаемость парамагнетиков $\mu > 1$, но отличие от единицы очень невелико. К парамагнетикам относятся алюминий, марганец, палладий, платина, растворы железных и никелевых солей, кислород, воздух и др.

Для парамагнитных и диамагнитных веществ магнитная проницаемость μ **не зависит** от напряжённости внешнего намагничивающего поля, т.е. представляет собой постоянную величину, характеризующую данное вещество.

Особое место занимают **ферромагнетики** – вещества, способные быть намагниченными в отсутствие внешнего магнитного поля. Свое название они получили по наиболее распространенному представителю – железу. К ферромагнетикам относятся: кобальт, никель, гадолиний и их сплавы, некоторые сплавы марганца и хрома и др. Их намагниченность значительно превосходит намагниченность диамагнетиков и парамагнетиков.

Свойства ферромагнетиков:

1. Величины магнитной проницаемости μ и магнитной восприимчивости χ очень большие $10^4 \div 10^5$. Следовательно они создают значительные по величине добавочные магнитные поля.

2. Величины магнитной проницаемости μ и магнитной восприимчивости χ не остаются постоянными, а являются функциями напряженности магнитного поля \vec{H} (рис. 21)
3. Ферромагнетикам свойственно явление магнитного гистерезиса (рис. 22).

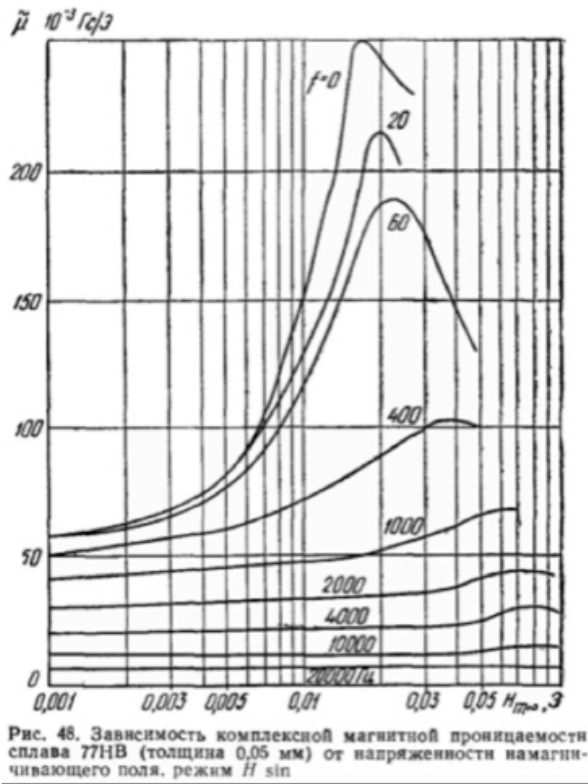


Рисунок 21

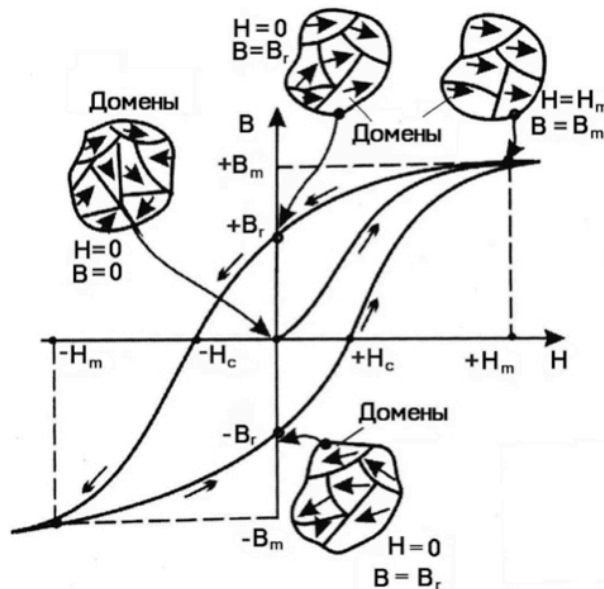


Рисунок 22

В зависимости от формы и площади петли ферромагнетики делят на:

- магнитномягкие (узкая петля гистерезиса, $H_c \sim 1 \div 100 \frac{\text{А}}{\text{М}}$);
- магнитножесткие (широкая петля гистерезиса, $H_c \sim 10^3 \div 10^5 \frac{\text{А}}{\text{М}}$).

Для изготовления постоянных магнитов используют магнитножесткие ферромагнети-

ки, для сердечников трансформаторов – магнитномягкие. При намагничивании ферромагнетиков происходит изменение их линейных размеров и объёма. Это явление называется **магнитострикцией**.

Перечисленные выше свойства ферромагнитных веществ обнаруживаются при температурах, меньших точки Кюри T_c – температура, при которой ферромагнетик теряет свои ферромагнитные свойства и становится парамагнетиком. Магнитная восприимчивость при температурах $T \geq T_c$ подчиняется закону Кюри – Вейса:

$$\chi = \frac{C}{T - T_c}.$$

Ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются собственные (спиновые) магнитные моменты электронов. При определенных условиях в кристаллах возникают силы, которые заставляют магнитные моменты электронов выстраиваться параллельно друг другу. Эти силы называются обменными. В результате возникают области спонтанного (самопроизвольного) намагничивания, которые называют **доменами**. Домены имеют размеры порядка $1 \div 10$ мкм. В пределах каждого домена ферромагнетик спонтанно намагничен до насыщения и обладает определенным магнитным моментом. Направления этих моментов для разных доменов различны, поэтому при отсутствии внешнего поля суммарный момент образца равен нулю и образец в целом представляется макроскопически ненамагниченным.

При включении внешнего магнитного поля домены, ориентированные по полю, растут за счёт доменов, ориентированных против поля. Такой рост в слабых полях имеет обратимый характер. В более сильных полях происходит одновременная переориентация магнитных моментов в пределах всего домена. Этот процесс является необратимым и служит причиной гистерезиса и остаточного намагничивания.

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Магнитный поток. Закон электромагнитной индукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции

Магнитным потоком (поток вектора магнитной индукции \vec{B}) сквозь контур называют скалярную физическую величину

$$d\Phi = (\vec{B}, d\vec{S}) = B \cdot dS \cdot \cos\alpha,$$

где $d\vec{S} = \vec{n}dS$, \vec{n} – единичный вектор нормали площадке dS , α – угол между направлением вектора магнитной индукции \vec{B} и направлением нормали \vec{n} (рис. 23).

$$[\Phi] = (\text{вебер})$$

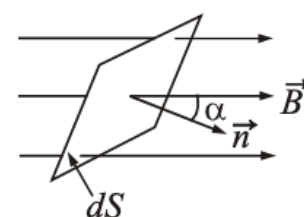


Рисунок 23

Явление электромагнитной индукции открыто в 1831 году М. Фарадеем.

Явление электромагнитной индукции – это явление возникновения в контуре ЭДС индукции при всяком изменении магнитного потока Φ сквозь поверхность, охватываемую контуром.

Закон электромагнитной индукции: ЭДС индукции в контуре пропорциональна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, натянутую на этот контур

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Правило Ленца: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Изменение магнитного потока может достигаться изменением тока в самом контуре (**явление самоиндукции**). Тогда ЭДС самоиндукции будет равным

$$\varepsilon_S = -L \frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность проводника.

Индуктивность соленоида $L = \mu_0 \mu n^2 l S$, где n – число витков на единицу длины соленоида, l – длина соленоида, S – площадь поперечного сечения.

Энергия магнитного поля, созданного проводником с током I и индуктивности L равна:

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Изменение магнитного потока может достигаться также изменением тока в соседнем контуре (**явление взаимной индукции**). При этом

$$\varepsilon = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где для двух соленоидов одинаковой длины с общей осью взаимная индуктивность равна

$$L_{12} = \mu_0 \mu n_1 n_2 l S.$$

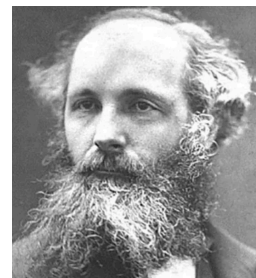
Величину $\Psi = N\Phi$ называют полным магнитным потоком или потокосцеплением. С учетом этого:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt}.$$

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Из явления электромагнитной индукции следует, что всякое переменное магнитное поле вызывает вихревое электрическое поле. Анализируя различные электромагнитные процессы, Максвелл пришел к заключению, что должно существовать и обратное явление: **всякое изменение электрического поля вызывает появление вихревого магнитного поля**.

Так как магнитное поле есть основной обязательный признак всякого тока, то Максвелл назвал переменное электрическое поле током смещения, в отличие от тока проводимости, обусловленного движением заряженных частиц (электронов и ионов).



Джеймс Максвелл
(1831-1879)

Если цепь подключить к источнику переменного тока, то в пространстве между обкладками будет переменное электрическое поле, которое можно охарактеризовать вектором электрического смещения \vec{D} . Максвелл предположил, что линии тока проводимости непрерывно переходят на границе обкладок в линии тока смещения. (Мы знаем, что в отличие от постоянного тока, переменные токи могут существовать и в разомкнутых контурах).

Мгновенное значение силы тока $I = \frac{dq}{dt}$. Плотность тока проводимости в непосредственной близости от поверхности обкладок определяется выражением:

$$j_c = \frac{d q}{dt S} = \frac{d\sigma}{dt},$$

где S — площадь обкладки, q — ее заряд, σ — поверхностная плотность заряда.

Чтобы линии тока смещения имели такую же частоту, как и линии тока проводимости, плотность тока смещения j_c также должна быть равна $\frac{d\sigma}{dt}$. Выразим j_c через параметры электрического поля, имеющегося в зазоре. Электрическое смещение в зазоре между обкладками равно:

$$D = \varepsilon_0 E_0 = \sigma, \quad \frac{d\sigma}{dt} = \frac{dD}{dt}, \quad j_c = \frac{dD}{dt},$$

$$I = \frac{dq}{dt} = S \frac{dD}{dt},$$

Видно, что сила тока в проводе связана с быстротой изменения электрического смещения электрического поля. Следовательно меняющееся поле конденсатора вызывает так же магнитное поле, как ток, имеющий силу $I = S \frac{dD}{dt}$ или плотность $j_c = \frac{dD}{dt}$. Эта величина названа плотностью тока смещения.

Если в каком либо проводнике имеется переменный ток, то внутри проводника существует переменное электрическое поле. Поэтому, внутри проводника имеются, и ток проводимости и ток смещения и магнитное поле проводника определяется их суммой, т.е., полным током. Плотность полного тока:

$$\vec{j}_p = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.$$

В зависимости от электропроводности среды и быстроты изменения поля (частоты переменного тока) оба слагаемых играют разную роль. В хорошо проводящих веществах (металлах) и при низких частотах плотность тока смещения мала и током смещения можно пренебречь по сравнению с током проводимости. В плохо проводящих средах (изоляторах) и при высоких частотах ток смещения играет основную роль. Оба слагаемых могут иметь и одинаковые знаки и противоположные. Поэтому, полный ток может быть как больше, так и меньше тока проводимости.

Анализ явления электромагнитной индукции и открытие тока смещения позволили Максвеллу создать единую теорию электрических и магнитных явлений. Эта теория явилась завершением важного этапа в развитии учения об электричестве и привела к классическому представлению об электромагнитном поле, содержащем в общем случае и электрическое, и магнитное поля, связанные между собой и способные взаимно превращаться друг в друга. Теория Максвелла не только объяснила уже известные факты, но и предсказала новые и важные явления. Совершенно новым в этой теории явилось предположение Максвелла о магнитном поле токов смещения. На основе этого предположения Максвелл теоретически пред-

сказал существование электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью. Теоретическое исследование свойств электромагнитных волн привело затем Максвелла к созданию электромагнитной теории света, согласно которой свет представляет собой также электромагнитные волны. В дальнейшем электромагнитные волны действительно были получены на опыте, а еще позднее электромагнитная теория света, а с нею и вся теория Максвелла получили полное и блестящее подтверждение.

Уравнения Максвелла содержат в себе все основные законы электрического и магнитного полей, включая электромагнитную индукцию, и поэтому являются общими уравнениями электромагнитного поля в покоящихся средах. Поскольку уравнения Максвелла образуют основу теории об электромагнетизме, рассмотрим кратко физический смысл этих уравнений.

№ уравнения	Интегральная форма	Дифференциальная форма	Физический смысл
1	$\oint \vec{E} d\vec{l} = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ <p>Циркуляция вектора напряженности электрического поля по произвольному замкнутому контуру прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром.</p>	$rot \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ <p>При всяком изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, пропорциональное скорости изменения индукции магнитного поля.</p>	Всякое изменение магнитного поля во времени вызывает появление вихревого электрического поля
2	$\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$ <p>Отражает тот факт что магнитные линии не имеют начала и конца, и являются замкнутыми</p>	$div \vec{B} = 0$ <p>Поток вектора индукции через произвольную замкнутую поверхность равен нулю. Это означает, что в природе нет магнитных зарядов.</p>	Магнитных зарядов не существует
3	$\oint \vec{H} d\vec{l} = \oint \vec{j} d\vec{s} + \int \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$ <p>Циркуляция вектора напряженности магнитного поля по произвольному замкнутому контуру прямо пропорциональна суммарному току, пересекающему поверхность, охватываемую этим контуром.</p>	$rot \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ <p>Вокруг любого проводника с током и вокруг любого переменного электрического поля существует вихревое магнитное поле.</p>	Протекание тока проводимости по проводникам и изменения электрического поля во времени приводят к появлению вихревого магнитного поля.
4	$\oint \vec{D} d\vec{S} = \int \rho dV$ <p>Поток вектора электростатической индукции через произвольную замкнутую поверхность, охватывающую заряды, прямо пропорционален суммарному заряду, расположенному внутри этой поверхности.</p>	$div \vec{D} = \rho$	Источником электрического поля является электрический заряд.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Оптика – это раздел физики, который изучает природу света, световые явления и взаимодействие света с веществом.

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, длины которых заключены в диапазоне от единиц *нм* до десятых долей *мм* (диапазон частот $\sim 3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^{11}$ Гц). Поэтому оптика является частью общего учения об электромагнитном поле. Ниже на рис.25 приведена шкала электромагнитных волн.

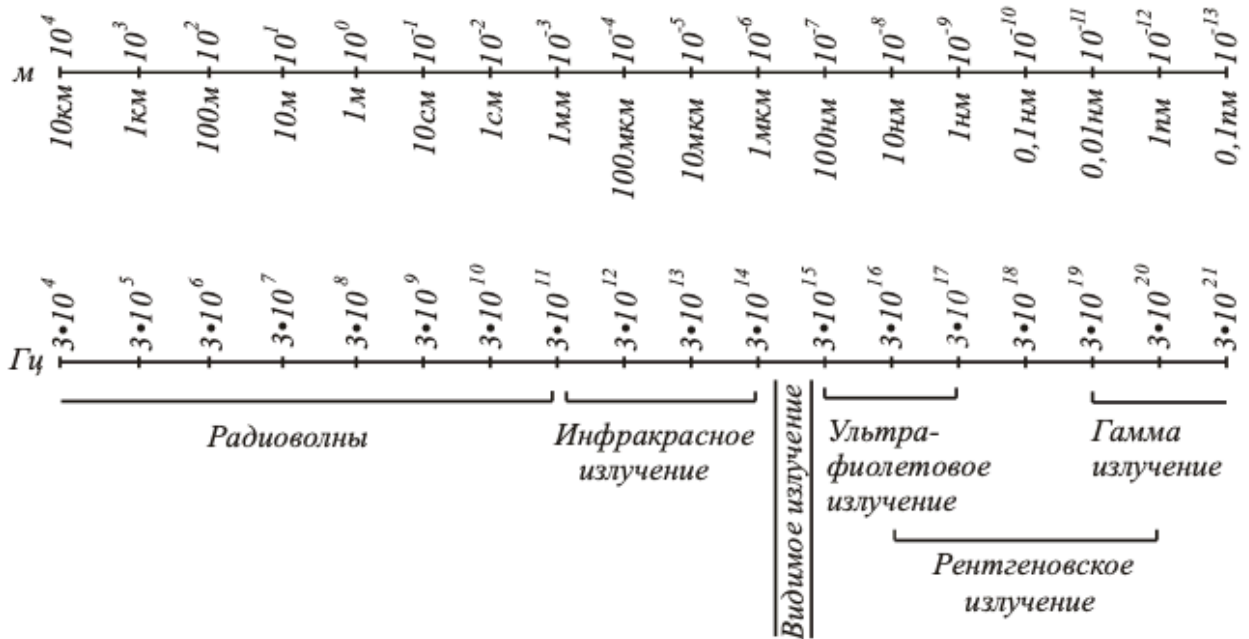


Рисунок 25

В зависимости от рассматриваемых явлений оптику делят на геометрическую, волновую и квантовую.

Экспериментально установлено, что действие света (рис. 26) на устройства для его регистрации определяет вектор электрической напряженности \vec{E} электромагнитного поля световой волны. Его в оптике называют световым вектором. Монохроматическая световая волна (волна у которой частота ν и амплитуда A со временем не меняются), распространяющаяся вдоль оси X со скоростью ϑ , описывается уравнением

$$E = A \cos(\omega t - kx + \alpha),$$

где A — амплитуда светового вектора, $(\omega t - kx + \alpha)$ — фаза волны, $k = \frac{\omega}{\vartheta} = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число, которое показывает, сколько длин волн укладывается на расстоянии 2π м, ω — циклическая частота,

Длина волны λ — это расстояние, на которое распространяется фронт волны за время, равное периоду колебаний. **Фронт волны** — поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания ещё не возникли.

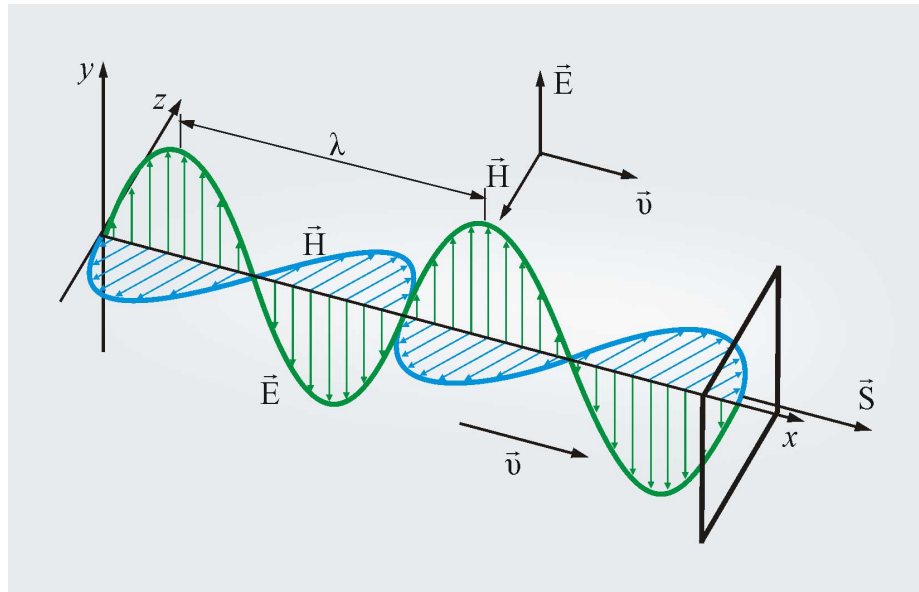


Рисунок 26

Скорость света в среде:

$$v = \frac{c}{n},$$

где c — скорость света в вакууме, $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ — показатель преломления среды, ϵ и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

Для большинства прозрачных веществ $\mu \approx 1$ поэтому $n = \sqrt{\epsilon}$.

Световой луч (или просто луч) — это линия, вдоль которой переносится световая энергия. Лучи ортогональны волновым поверхностям. Волновая поверхность — это геометрическое место точек колеблющихся в одной фазе.

Законы геометрической оптики

Геометрической оптикой называют часть оптики, в которой изучаются законы распространения света в прозрачных средах на основе представления о нем, как о совокупности световых лучей.

Закон независимости световых лучей — эффект, производимый отдельным лучом, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные лучи или они устранены.

Закон прямолинейного распространения света — свет в однородной прозрачной среде распространяется прямолинейно.

Углом падения называют угол α между падающим лучом A света и перпендикуляром к границе раздела двух сред, восстановленным в точке падения O .

Углом отражения называют угол β между отражённым лучом B света и перпендикуляром к поверхности отразившей свет, восстановленным в точке падения O .

Закон отражения света — отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения; угол отражения β равен углу падения α , рис. 27: $\alpha = \beta$.

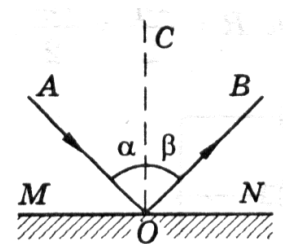


Рисунок 27

Закон преломления света (закон Снелля, 1621) — падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к поверхности раздела двух сред, проведенный в точке падения луча, лежат

в одной плоскости рис. 28; при преломлении света на границе раздела двух изотропных сред с показателями преломления n_1 и n_2 выполняется условие

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}.$$

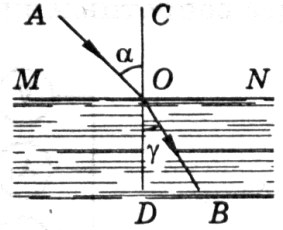


Рисунок 28

Полное внутреннее отражение – это отражение светового луча от границы раздела двух прозрачных сред в случае его падения из оптически более плотной среды в среду оптически менее плотную под углом $\alpha \geq \alpha_{\text{пр}}$, для которого выполняется равенство

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где n_{21} – относительный показатель преломления.

Наименьший угол падения $\alpha_{\text{пр}}$, при котором весь падающий свет полностью отражается в среду с показателем преломления n_1 (рис. 29), называется предельным углом полного отражения. Явление полного отражения используется в световодах и призмах полного отражения (например в биноклях).



Рисунок 29

Волновая оптика – раздел физики, изучающий оптические явления, в которых проявляется волновая природа света. К ним относятся интерференция, дифракция, поляризация.

Интерференция света

Явление интерференции света состоит в перераспределении световой энергии в пространстве при наложении когерентных волн, т.е. во взаимном усилении этих волн в одних точках пространства и ослаблении – в других.

Необходимым условием интерференции волн является их когерентность. Волны одинаковой частоты, которые приходят в данную точку с разностью фаз не изменяющейся с течением времени, называются **когерентными**.

Оптическая длина пути световой волны:

$$L = ns,$$

где s – геометрическая длина пути световой волны, n – показатель преломления среды.

Оптическая разность хода двух световых волн (рис. 30):

$$\Delta = L_1 - L_2 = n_2 x_2 - n_1 x_1.$$

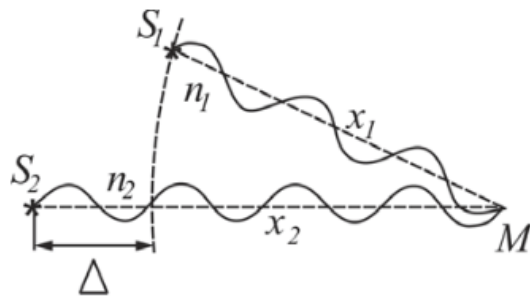


Рисунок 30

Связь между разностью фаз и оптической разностью хода световых волн:

$$\Delta\varphi = 2\pi\left(\frac{\Delta}{\lambda}\right).$$

Условие усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm m\lambda, \quad \Delta\varphi = 2\pi m, \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Условие ослабления света:

$$\Delta = \pm (2m - 1)\frac{\lambda}{2}, \quad \Delta\varphi = (2m - 1)\pi, \quad (m = 1, 2, \dots).$$

Способы наблюдения интерференции света

Схема предложенная в 1803 г. Томасом Юнгом (рис. 31), который первый понял что невозможно наблюдать интерференцию от двух независимых источников. Схема опыта представлена на рисунке. Свет, испускаемый точечным источником (малое отверстие S в преграде A), проходит через два отверстия S_1 и S_2 во второй непрозрачной преграде B . Эти отверстия разделены малым расстоянием d и являются как бы двумя когерентными источниками световых волн.

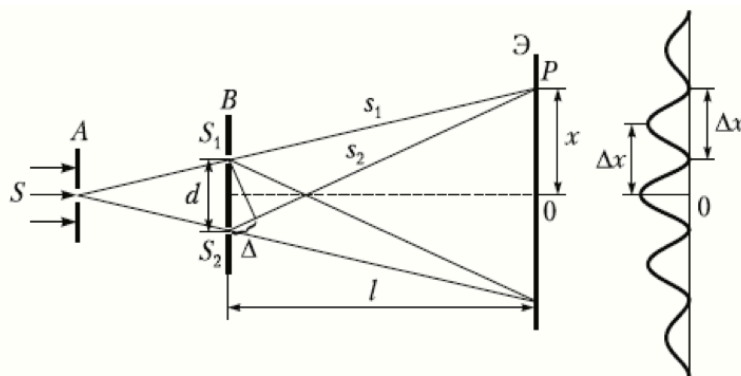
Томас Юнг
(1773-1829)

Рисунок 31

Интерференционная картина наблюдается на экране \mathcal{E} , расположенном на расстоянии l , значительно большем, чем d , параллельно преграде B . Усиление или ослабление света в произвольной точке P экрана зависит от оптической разности хода волн $\Delta = S_2 - S_1$ (установка в вакууме или воздухе). Справа от экрана приведена качественная картина распределения интенсивности на разных расстояниях от центра картины – точки 0 .

Для расчетов параметров интерференционной картины в схеме Юнга пользуются следующими обозначениями (см. рисунок 32)

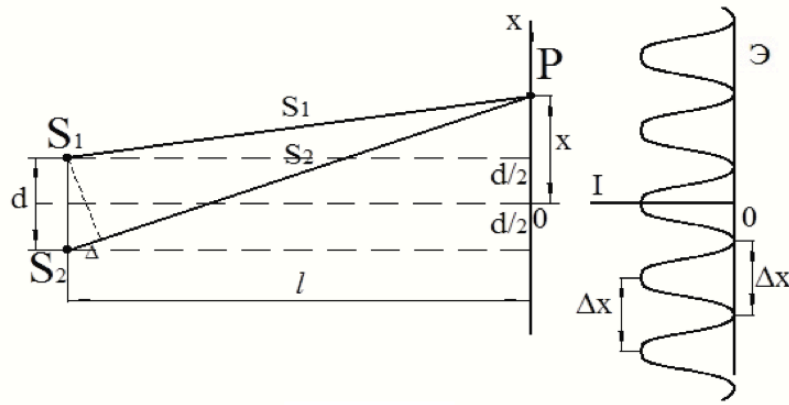


Рисунок 32

Максимумы интенсивности на экране наблюдаются в точках

$$x_{max} = k \frac{l}{d} \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Минимумы — в точках с координатами

$$x_{min} = \frac{2k + 1}{2} \frac{l}{d} \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где λ — длина волны падающего света.

Шириной интерференционной полосы называется расстояние Δx между двумя соседними минимумами (максимумами) интенсивности. Из этого следует что

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda.$$

Зеркала Френеля

Зеркала Френеля – это два плоских зеркала Z_1 и Z_2 , которые расположены под углом, близким к 180° по отношению друг к другу. Точечный источник S испускает свет, который отражается от обоих зеркал и попадает на экран \mathcal{E} , защищенный от прямого попадания света преградой Z (рис. 33).

Согласно законам отражения от плоского зеркала свет, отраженный от зеркал Z_1 и Z_2 , как бы исходит из мнимых источников S_1 и S_2 , являющихся изображениями источника S в этих зеркалах. Как и в опыте Юнга, расстояние d между мнимыми источниками S_1 и S_2 оказывается значительно меньше, чем расстояние от источников до экрана. Мнимые источники S_1 и S_2 испускают когерентные волны, которые интерферируют при наложении. Интерференционная картина наблюдается на экране \mathcal{E} , и интенсивность в разных точках экрана зависит от оптической разности хода волн до этих точек.

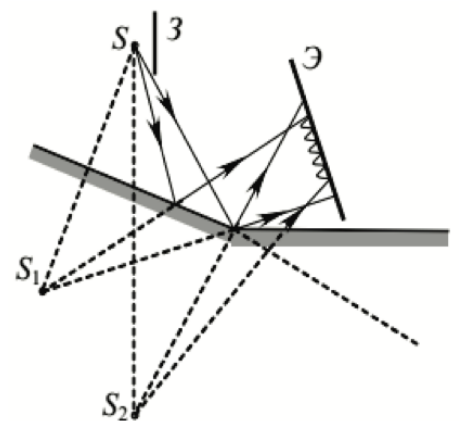


Рисунок 33

Бипризма Френеля

В данном случае мнимые источники когерентных световых волн S_1 и S_2 возникают в результате преломления света, испущенного точечным источником S , в бипризме, представляющей собой две призмы, изготовленные из одного куска стекла, имеющие общее основание и очень малый преломляющий угол α (рис. 34).

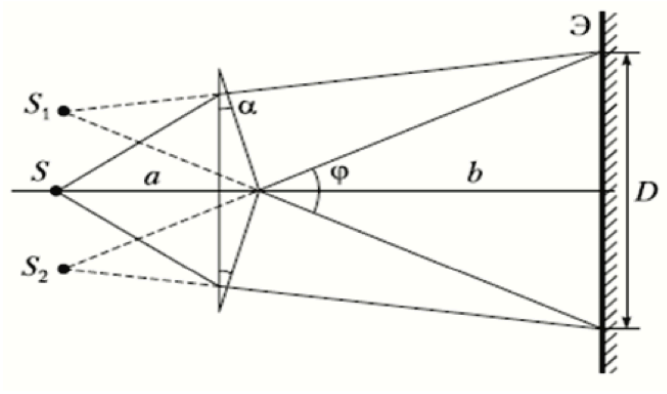


Рисунок 34

Интерференция света в тонких пленках

Интерференцию света можно наблюдать как с помощью специальных оптических устройств, так и в естественных условиях. Примером может быть радужная окраска тонких плёнок (мыльных пузырей, плёнок нефти или масла на поверхности воды, прозрачных плёнок оксидов на поверхностях закаленных металлических деталей и т.д.) (рис. 35). Образование частично когерентных волн при этом происходит из-за отражения падающего на плёнку света от верхней и нижней поверхностей плёнки.

Наблюдения интерференции света



Рисунок 35

Если на тонкую прозрачную пластинку или плёнку падает световая волна, то происходит её отражение от обеих поверхностей пластинки. При этом возникают когерентные световые волны, которые могут интерферировать. Разность хода, приобретаемая лучами 1 и 2 до того, как они сойдутся в точке C (рис. 36), равна

$$\Delta = (AO + OC)n - BC,$$

n — показатель преломления пленки.

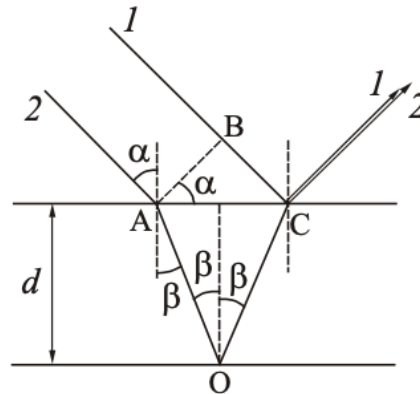


Рисунок 36

Проведение ряда математических преобразований и учет закона преломления света $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$ дает следующее выражение:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}.$$

Следует также учесть, что в точке C отражение волны происходит от оптически более плотной среды, поэтому фаза колебаний вектора изменяется на π . В точке O отражение происходит от оптически менее плотной среды, поэтому изменения фазы не происходит. В итоге между лучами 1 и 2 возникает дополнительная разность фаз, равная π . Ее учитывают, добавлением к оптической разности хода Δ половины длины волны. В результате получим

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \frac{\lambda_0}{2},$$

где d — толщина, α — угол падения, λ_0 — длина волны света в вакууме.

Видно, что при постоянных d , n , α значение Δ для всей плёнки будет одним и тем же, а интенсивность отражённого от неё света одинакова для любой точки поверхности. Интерференционных полос нет, и в зависимости от значений Δ интенсивность отражённого света либо максимальна, либо уменьшается до нуля.

Для возникновения интерференционных полос в отражённом свете необходимо, чтобы либо толщина плёнки d , либо угол падения α для разных точек поверхности изменялись. Соответственно, рассматривая интерференцию в тонких плёнках, различают полосы равного наклона и полосы равной толщины.

Полосы равного наклона наблюдаются в тех случаях, когда на плоскопараллельную тонкую плёнку падает под разными углами α_1 , α_2 сходящийся (или расходящийся) пучок света. Так как толщина плёнки d и ее показатель преломления n везде одинаковы, то оптическая разность хода интерферирующих лучей изменяется вдоль поверхности плёнки из-за изменения угла падения α .

Условия интерференции для всех лучей, падающих на поверхность плёнки и отражающихся от неё под одним и тем же углом, одинаковы. Поэтому интерференционная картина в этом случае называется полосами равного наклона. Полосы равного наклона наблюдают на экране Э, который установлен в фокальной плоскости линзы Л (рис. 37).

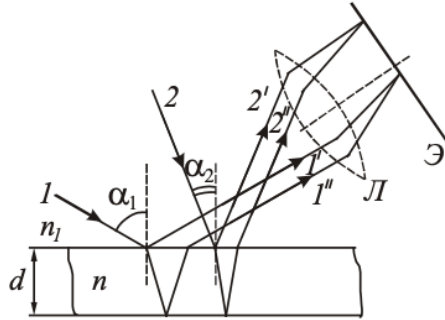


Рисунок 37

Полосы равной толщины наблюдаются при отражении параллельного пучка лучей (угол падения $\alpha = const$) от тонкой прозрачной плёнки, толщина которой d неодинакова в разных местах. Условия интерференции будут одинаковы в тех точках, которым соответствуют одинаковые значения d . Поэтому рассматриваемая интерференционная картина называется полосами равной толщины. Примером полос равной толщины являются кольца Ньютона (рис. 38).

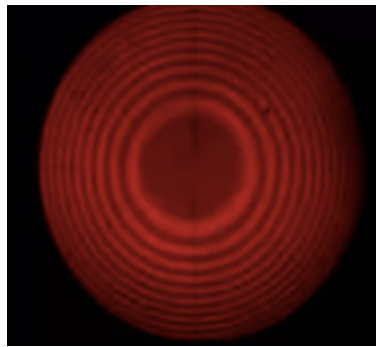


Рисунок 38

Кольца Ньютона наблюдаются в том случае, когда выпуклая поверхность линзы малой кривизны соприкасается с плоской поверхностью хорошо отполированной пластинки, так что остающаяся между ними воздушная прослойка постепенно утолщается от центра к краям (рис. 39). Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отражённые от верхней и нижней границ этой воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. При этом получается следующая картина: в центре – тёмное пятно, окруженное рядом концентрических светлых и чёрных колец убывающей ширины (рис. 38)

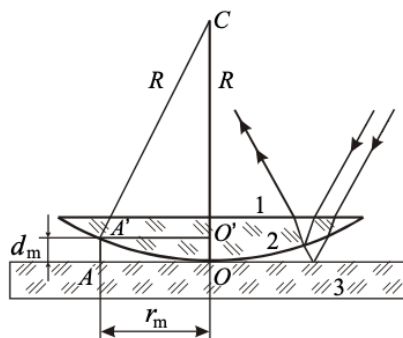


Рисунок 39

Радиус светлых r_m^{CB} колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_m^{\text{CB}} = \sqrt{(2m - 1)R \frac{\lambda}{2}}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

радиус темных r_m колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где m – номер кольца, R – радиус кривизны линзы.

В проходящем свете:

$$\text{светлые кольца} - r_m^{\text{CB}} = \sqrt{mR\lambda}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

$$\text{темные кольца} - r_m = \sqrt{(2m - 1)R \frac{\lambda}{2}}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Просветление оптики

Интерференция при отражении от тонких плёнок лежит в основе просветления оптики. Прохождение света через каждую преломляющую поверхность линзы сопровождается отражением примерно 4% падающего света. В сложных объективах такие отражения совершаются многократно, и суммарная потеря светового потока достигает заметной величины. В просветленной оптике для устранения отражения света на каждую свободную поверхность линзы наносится тонкая плёнка (рис.40), в качестве примера представлены фото объективов с нанесенными на поверхность их линз тонкими пленками.



Рисунок 40

Показатель преломления тонкой пленки меньше, чем у линзы (рис. 41 — интерференция в четвертьволновой просветляющей пленке). Толщина плёнки подбирается так, чтобы волны, отражённые от обеих ее поверхностей, погасали друг друга. На рис. 42 представлен пример зависимости коэффициента отражения в четвертьволновой просветляющей пленке в зависимости от угла падения и длины волны.

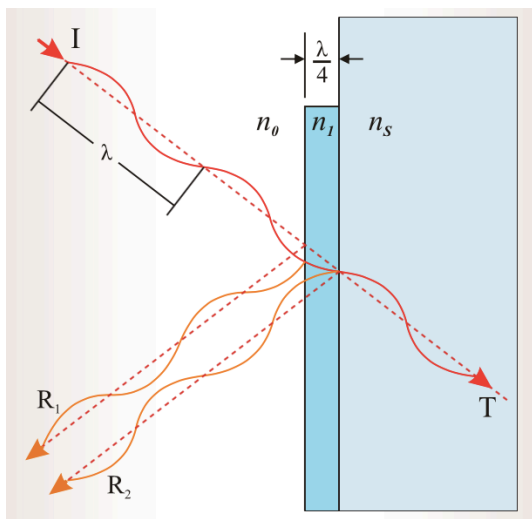


Рисунок 40

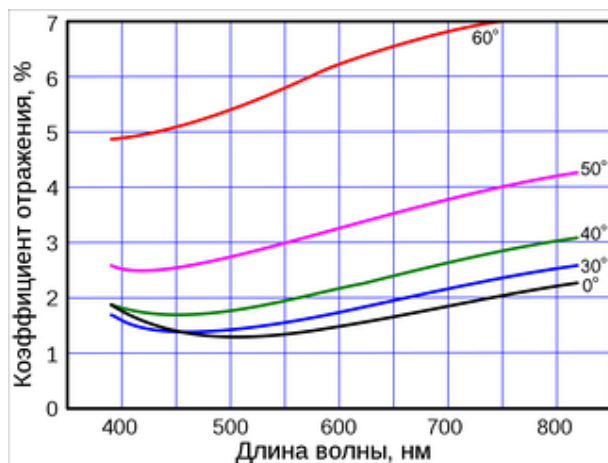


Рисунок 41

Дифракция света

Дифракцией света называются явления, обуславливающие отклонения от законов геометрической оптики при распространении света в среде с резкими неоднородностями.

Между интерференцией и дифракцией нет существенного физического различия. Оба явления заключаются в перераспределении светового потока, которое происходит при наложении когерентных волн (суперпозиции волн). Перераспределение интенсивности, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых конечным числом дискретных когерентных источников, принято называть интерференцией волн. Перераспределение интенсивности, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых когерентными источниками, расположенными непрерывно, принято называть дифракцией волн.

Приближенный метод, с помощью которого можно рассчитать закономерности дифракционных картин, называется принципом Гюйгенса-Френеля.

Основные положения принципа Гюйгенса-Френеля:

1. Каждую точку фронта волны можно рассматривать, как источник вторичных сферических волн (рис. 42).

2. Вторичные волны когерентны, поэтому они интерферируют между собой.

3. Амплитуда колебаний в любой точке определяется как результат интерференции вторичных волн от бесконечного множества вторичных источников, т.е. в точке A (рис.42) накладывается множество лучей.

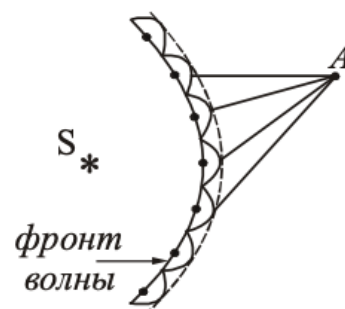


Рисунок 42

Рассмотрим в произвольной точке M амплитуду световой волны, распространяющейся в однородной среде из точечного источника S . Обозначим через b расстояние от вершины волновой поверхности до точки M (рис. 43). Согласно принципу Гюйгенса-Френеля заменим действие источника S действием воображаемых источников, расположенных на вспомогательной поверхности Φ являющейся поверхностью фронта волны, идущей из S (поверхность сферы с центром S и радиусом a).

Разобьем волновую поверхность на **зоны Френеля** – кольцевые зоны такого размера, чтобы колебания, возбуждаемые двумя соседними зонами в точке M , происходили в противофазе. Тогда расстояния от краев зоны до M должны отличаться на $\lambda/2$, где λ – длина волны

в той среде, в которой распространяется волна.

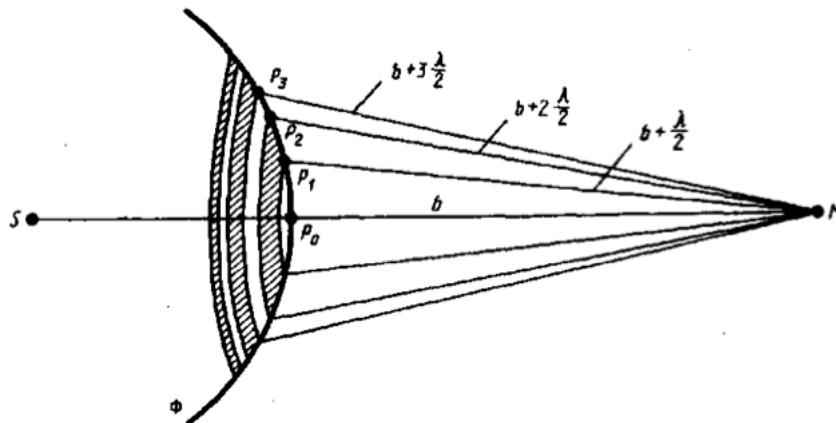


Рисунок 43

Тогда, обозначив амплитуды колебаний от 1-й, 2-й, ... m -й зон Френеля через $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$, (при этом $A_1 > A_2 > A_3 > \dots$), получим амплитуду результирующего колебания: $A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$.

Световая волна распространяется прямолинейно. Фазы колебаний, возбуждаемые соседними зонами, отличаются на π . Поэтому в качестве допустимого приближения можно считать, что амплитуда колебания A_m от некоторой m -й зоны равна среднему арифметическому от амплитуд примыкающих к ней зон, т.е.

$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}.$$

Тогда можно показать что результирующая амплитуда в точке M будет равна

$$A = A_1/2,$$

а радиус m -й зоны Френеля (для дифракции в расходящихся лучах)

$$r_m = \sqrt{m \frac{ab\lambda}{(a+b)}}.$$

Рассмотрим дифракцию в сходящихся лучах, или **дифракцию Френеля**, осуществляемую в том случае, когда дифракционная картина наблюдается на конечном расстоянии от препятствия, вызвавшего дифракцию.

Дифракция на круглом отверстии

Поставим на пути сферической световой волны непрозрачный экран с круглым отверстием радиуса r_0 . Экран расположен так, что перпендикуляр, опущенный из S на непрозрачный экран, попадает точно в центр отверстия (рис. 44). На продолжении этого перпендикуляра возьмем точку B и рассмотрим, что мы будем наблюдать на экране.

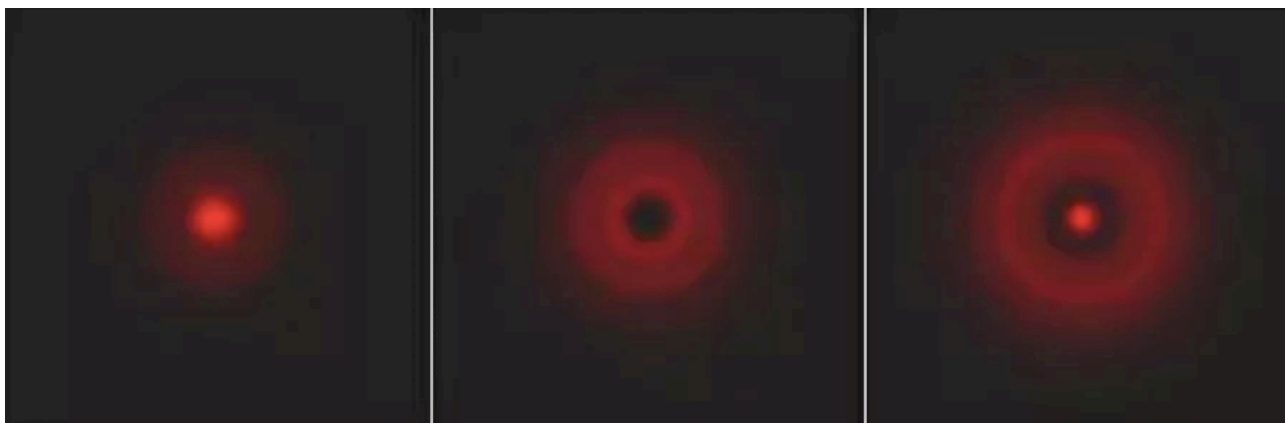
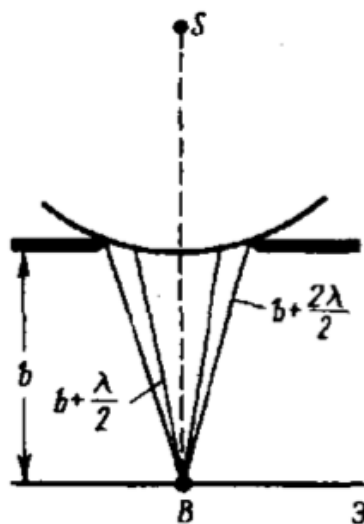


Рисунок 44

Разобьем открытую часть волновой поверхности на зоны Френеля. Вид дифракционной картины зависит от числа зон Френеля, открываемых отверстием. Амплитуда результирующего колебания, возбуждаемого в точке B всеми зонами

$$A = 1/2(A_1 + A_m), (m - \text{нечетное}),$$

$$A = 1/2(A_1 - A_m), (m - \text{четное}).$$

Таким образом, когда отверстие открывает **нечетное число** зон Френеля, то амплитуда (интенсивность) в точке B будет больше, чем при свободном распространении волны; если **четное**, то амплитуда (интенсивность) будет равна нулю, как показано на рис. 44.

Если $r_0 \gg \lambda$, то никакой дифракционной картины не будет.

Дифракция на диске

Сферическая волна, распространяющаяся от точечного источника S , встречает на своем пути диск (рис. 45). Амплитуда световых колебаний в точке B равна половине амплитуды, обусловленной первой открытой зоной. Если размер диска невелик (охватывает небольшое число зон), то действие первой зоны немногим отличается от действия центральной зоны волнового фронта. Таким образом, освещенность в точке B будет такой же, как и в отсутствие экрана. Вследствие симметрии центральная светлая точка будет окружена кольцами света и тени (вне границ геометрической тени).

Пусть диск закрывает m первых зон Френеля. Тогда амплитуда результирующего колебания в точке B равна

$$A = A_{m+1} - A_{m+2} + A_{m+3} - \dots = \frac{A_{m+1}}{2} + \left(\frac{A_{m+1}}{2} - A_{m+2} + \frac{A_{m+3}}{2} \right) + \dots = \frac{A_{m+1}}{2},$$

так как выражения, стоящие в скобках, равны нулю. Следовательно, в точке B всегда наблюдается интерференционный максимум (светлое пятно), соответствующий половине действия первой открытой зоны Френеля. Центральный максимум (пятно Пуассона) окружен concentрическими с ним темными и светлыми кольцами, а интенсивность в максимумах убывает с расстоянием от центра картины.

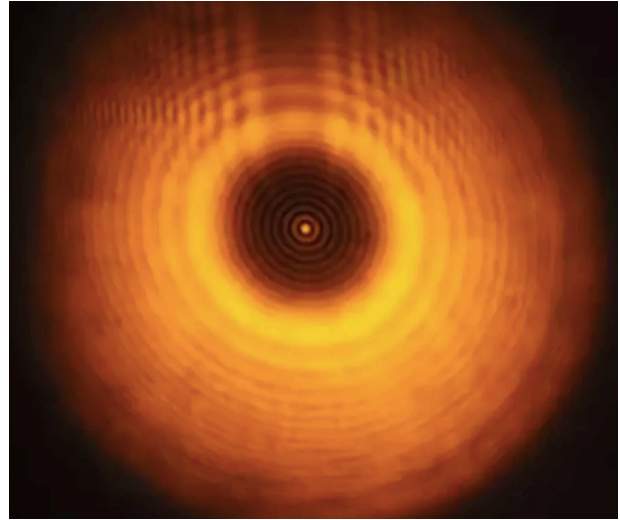
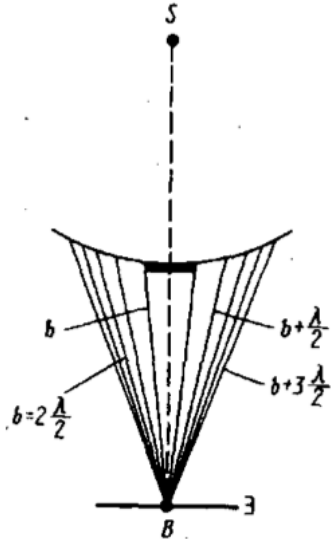


Рисунок 45

Дифракция на одной щели

Дифракция Фраунгофера, имеющая большое практическое значение, наблюдается в том случае, когда источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия, вызвавшего дифракцию.

Чтобы этот тип дифракции осуществить, достаточно точечный источник света поместить в фокусе собирающей линзы, а дифракционную картину исследовать в фокальной плоскости второй собирающей линзы, установленной за препятствием.

Пусть плоская монохроматическая световая волна падает нормально плоскости узкой щели шириной a (рис. 46а)

Оптическая разность хода между крайними лучами MC и ND , идущими от щели под углом φ

$$\Delta = NF = a \sin \varphi,$$

где F — основание перпендикуляра, опущенного из точки M на луч ND .

Разобьем открытую часть волновой поверхности в плоскости щели MN на зоны Френеля, имеющие вид полос, параллельных ребру M щели.

Ширина каждой зоны выбирается так, чтобы разность хода от краев этих зон была равна $\lambda/2$.

Так как свет на щель падает нормально, то плоскость щели совпадает с волновым фронтом; сле-

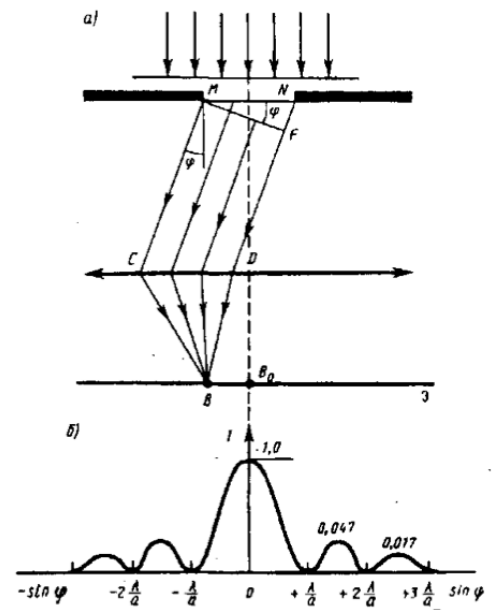


Рисунок 46

довательно, все точки волнового фронта в плоскости щели будут колебаться в одинаковой фазе. Амплитуды вторичных волн в плоскости щели будут равны, так как выбранные зоны Френеля имеют одинаковые площади и одинаково наклонены к направлению наблюдения. От числа зон Френеля, в свою очередь, зависит результат наложения всех вторичных волн.

Можно получить условие максимума при дифракции на одной щели:

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, m = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

где a – ширина щели, m – порядковый номер максимума, φ – угол дифракции, соответствующий m -му максимуму.

Условие минимума при дифракции на одной щели:

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, m = 1, 2, 3, \dots$$

Дифракционная решётка – это спектральный оптический прибор, предназначенный для разложения света в спектр и измерения длин волн. Она представляет собой плоскую стеклянную пластинку, на которую через строго одинаковые интервалы наносят параллельные штрихи. Промежутки между штрихами прозрачны для световых лучей и играют роль щелей. Штрихи рассеивают лучи и, поэтому, являются непрозрачными. Основным параметром решётки является расстояние между серединами соседних штрихов, которое называют **периодом d (постоянной) дифракционной решётки**:

$$d = a + b,$$

где a – ширина щели, b – размер препятствия.

На 1 мм может быть нанесено $10^3 \div 10^4$ штрихов, а период решётки может иметь значение $(1 \div 10)$ мкм.

Дифракционная картина на решетке определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей, т. е. в дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света, идущих от всех щелей.

Рассмотрим дифракционную решетку. На рис. 47 для наглядности показаны только две соседние щели MN и CD . Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально к плоскости решетки.

Так как щели находятся друг от друга на одинаковых расстояниях, то разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей, будут для данного направления φ одинаковы в пределах всей дифракционной решетки:

$$\Delta = CF = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

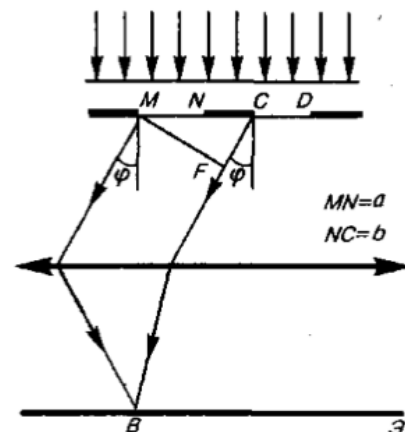


Рисунок 47

С учетом того что максимум возникает если оптическая разность хода волн равна целому числу длин волн, угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму при дифракции света на дифракционной решетке, тогда можно определить из условия:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

где d – период (постоянная) дифракционной решетки, λ — длина волны падающего света.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N,$$

где $\Delta \lambda$ – наименьшая разность длин волн двух спектральных линий с длинами волн λ и $\lambda + \Delta \lambda$, при которой эти линии видны отдельно в спектре, полученном на дифракционной решетке, N – полное число щелей решетки.

Пространственной (трехмерной) дифракционной решеткой называется такая оптически неоднородная среда, неоднородности которой периодически повторяются при изменении всех трех пространственных координат. Примером пространственной дифракционной решетки является кристаллическая решетка твердого тела.

Дифракционные максимумы при дифракции рентгеновских лучей на кристаллах удовлетворяют условию Вульфа-Брэггов:

$$2d \sin \Theta = m \lambda, m = 1, 2, 3, \dots,$$

где m – порядок дифракционного максимума, d – расстояние между атомными плоскостями кристалла, Θ – угол между направлением параллельного пучка рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле.

Взаимодействие света с веществом

На характер распространения электромагнитных волн существенно влияет среда, в которой они распространяются. Согласно представлениям классической электронной теории, переменное электромагнитное поле световой волны, распространяющееся в диэлектрической среде, вызывает вынужденные колебания связанных зарядов (электронов и ионов), входящих в состав молекул среды.

Масса ионов намного больше массы электронов и они совершают заметные колебания под действием низкочастотного (инфракрасного) излучения. В области частот видимого и ультрафиолетового излучения определяющую роль играют вынужденные колебания внешних, наиболее слабо связанных электронов. Благодаря вынужденным колебаниям, электроны излучают вторичные волны, которые распространяются по всем направлениям.

Если среда оптически однородна, то расстояние между частицами среды меньше длины световой волны. Поэтому вторичные волны, излучаемые множеством соседних молекул, когерентны и интерферируют при наложении, гася друг друга во всех направлениях, кроме направления первичной волны. В результате интерференции в однородной изотропной среде образуется проходящая волна, фазовая скорость которой зависит от частоты, а направление распространения совпадает с направлением распространения первичной волны.

В неоднородной среде вторичные боковые волны не гасят друг друга. Реальные среды являются неоднородными, поэтому в реальных средах наблюдаются такие явления как рассеяние, дисперсия, полное внутреннее отражение. На границе раздела двух сред волны могут испытывать преломление, отражение и т.д.

Рассеяние света

Рассеянием света называется явление преобразования света веществом, сопровождающееся изменением направления распространения света и проявляющееся как несобственное свечение вещества.

В неоднородной среде вторичные волны дифрагируют на неоднородностях среды и дают дифракционную картину, которая характеризуется равномерным распределением интенсивности по всем направлениям.

Среды с явно выраженной оптической неоднородностью называются **мутными средами**. К ним относятся: 1) дым – взвесь в газе мельчайших твердых частиц; 2) туман – взвесь в газе мельчайших жидких частиц; 3) взвеси или суспензии, образованные плавающими в жидкости твердыми частицами; 4) эмульсии – взвеси мельчайших частиц одной жидкости в другой, не растворяющей первую. Примером эмульсии является молоко.

Даже очень тщательно очищенные газы и жидкости в некоторой степени рассеивают свет. Причиной этого являются **флуктуации плотности** (отклонения плотности от средних значений, наблюдаемые в пределах малых объемов). Эти флуктуации вызваны беспорядочным движением молекул вещества. Обусловленное им рассеяние называется **молекулярным**.

Молекулярным рассеянием объясняется голубой цвет неба. Из-за беспорядочного движения молекул в атмосфере непрерывно возникают места сгущения и разрежения воздуха, которые рассеивают свет. Интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны, поэтому голубые и синие лучи рассеиваются сильнее, чем желтые и красные, обуславливая голубой цвет неба. Когда Солнце находится низко над горизонтом, распространяющиеся от него лучи проходят большую толщину рассеивающей среды. В результате этого они оказываются обогащенными большими длинами волн. Поэтому небо на заре окрашивается в красные тона.

Поглощением света называется явление уменьшения энергии световой волны при ее распространении в веществе, происходящее вследствие преобразования энергии волны во внутреннюю энергию вещества. Поглощение света может вызвать нагревание вещества, возбуждение и ионизацию атомов или молекул, фотохимические реакции и другие процессы в веществе.

Интенсивность I электромагнитной волны, прошедшей поглощающий слой толщиной x , определяется законом Бугера–Ламберта:

$$I = I_0 e^{-kx},$$

где I_0 — интенсивность электромагнитной волны на границе слоя, μ — коэффициент поглощения, зависящий от химической природы и состояния среды, а также от частоты.

Рефракция — это преломление светового луча в атмосфере, обусловленное неодинаковым распределением плотности воздуха.

Атмосферная рефракция

Известно, что плотность атмосферы уменьшается с высотой. Поэтому световые лучи, идущие к земле от солнца и других небесных светил, переходя в нижние слои атмосферы, отклоняются от первоначального направления в сторону более плотных слоев воздуха.

В результате траектория движения луча принимает форму кривой линии, обращенной выпуклостью вверх от земной поверхности. Глаз человека видит предмет по тому направлению, по которому луч входит в глаз.

Поэтому при нормальной рефракции источник света представляется наблюдателю лежащим выше своего действительного положения. Угол рефракции зависит от высоты светила: чем высота меньше, тем рефракция больше. Поэтому Солнце и другие светила видны на своих местах только тогда, когда они находятся в зените, во всех других случаях они кажутся несколько приподнятыми (рис. 48).

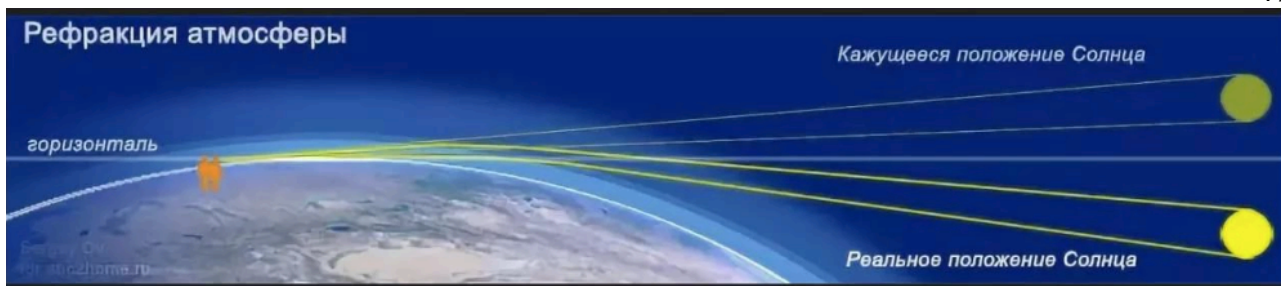


Рисунок 48

Вследствие рефракции можно наблюдать светило над горизонтом, когда оно на самом деле скрылось за него. Вот почему в умеренных широтах фактическая продолжительность дня увеличивается на 8-13 мин, а в высоких широтах полярная ночь сокращается почти на две недели против теоретической.

Рефракция оказывает влияние на форму дисков солнца и луны у горизонта. При нахождении солнца или луны низко над горизонтом разность углов рефракции для нижнего и верхнего краев светила получается настолько большой, что нижний их край оказывается относительно более приподнятым, чем верхний. Поэтому диски солнца или луны иногда кажутся немного сплюснутыми (рис. 49).

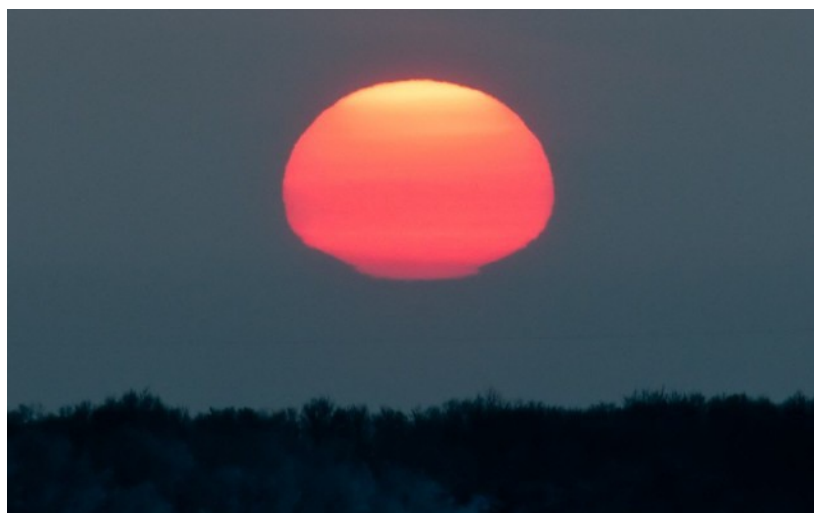


Рисунок 49

Голография (от греч. *holos* — весь, полный и *grapho* — пишу) — это особая технология фотографирования, с помощью которой получают трехмерные (объемные) изображения объектов. Это стало возможным благодаря двум свойствам световых волн — дифракции (преломление, огибание) и интерференции (перераспределение интенсивности света при наложении нескольких волн).

Основы голографии были заложены в 1948 г. физиком Денисом Габором (Великобритания). Однако отсутствие мощных источников когерентного света не позволило ему получить качественные голографические изображения. Второе рождение голография пережила в 1962 – 1963 гг., когда американские физики Э. Лейт и Ю. Упатниекс применили в качестве источника света лазер и разработали схему с наклонным опорным пучком, а Ю. Н. Денисюк осуществил запись голограммы в трёхмерной среде, объединив, таким образом, идею Габора с цветной фотографией Липмана. К 1965 – 1966 гг. были созданы теоретические и экспериментальные основы голографии. В последующие годы развитие голографии идёт главным образом по пути совершенствования её применений.

Рассмотрим элементарный способ получения голограмм (простейшая голографическая схема изображена на рис. 50).

Испускаемый лазером луч, расширяется и делится на две части. Одна часть падает на фотопластинку, отразившись от зеркала 3 (*опорный луч*), другая часть отражается от предмета 7 (*предметный луч*). Оба пучка лучей должны быть когерентными. Опорный и предметный лучи складываются на фотопластинке, образуя интерференционную картину. Там, где максимумы интенсивности, эмульсия засвечивается сильнее, где минимумы – слабее.



Рисунок 50

Для того чтобы увидеть изображение предмета, голограмму необходимо просветить той же опорной волной, которая использовалась при её получении. В простейшем случае — интерференции двух плоских волн (двух параллельных пучков) — голограмма представляет собой обычную дифракционную решётку. Плоская волна, падая на такую голограмму, частично проходит сквозь неё, сохраняя прежнее направление, а частично вследствие дифракции преобразуется в две вторичные плоские волны, распространяющиеся под углом φ , который связан с периодом решётки d и длиной световой волны λ формулой: $d \sin \varphi = \pm \lambda$.

Одна из волн ничем не отличается от волны, идущей от объекта при непосредственном его наблюдении. Таким образом, при просвечивании голограммы восстанавливается та же самая волна, которая исходила от объекта. В результате этого наблюдатель, смотрящий сквозь голограмму, увидит мнимое изображение объекта в том месте, где объект находился при съёмке. Другая волна также содержит информацию об объекте и образует его действительное изображение.

Голографическое изображение является объёмным, причём зрительное восприятие этого изображения ничем не отличается от восприятия исходного объекта.

Голограммы обладают следующими особенностями, отличающими их от фотографий:

- голограмма дает объемное изображение;
- голограмму можно разбить, и каждый осколок даст изображение. Объясняется это тем, что каждая точка пластинки при экспонировании подвергается действию волн, отраженных от всех точек предмета. При отделении части голограммы, уменьшается число «штрихов» своеобразной дифракционной решетки. Поэтому уменьшается разрешающая способность и интенсивность изображения при восстановлении, но картинка сохраняется;
- при воспроизведении изображения возможно его увеличение или уменьшение. Для увеличения необходимо при воспроизведении использовать излучение с большей частотой, чем при экспозиции;

- цветные голограммы получают на толстослойных эмульсиях. При этом экспозиция проводится несколько раз с монохроматическим излучением. На голограмме фиксируется не плоская, а пространственная интерференционная картина и формируется пространственная решетка. Для воспроизведения голограмму освещают белым светом, и максимумы волн различной длины располагаются в различных точках пространства, формируя объемное цветное изображение.

Рекомендую к просмотру <https://www.youtube.com/watch?v=C7nq1OJT14s>

В настоящее время голография представляет собой одно из главных направлений в оптических исследованиях. Ведутся исследования и разработки по применению голографии в медицине. Например, при получении оптических голограмм глаза, обеспечивающих единое трехмерное изображение хрусталика и сетчатки, или акустических голограмм тела, которые могут иметь важное преимущество по сравнению с двумерными рентгенограммами. К другим применениям голограммы относятся исследования и разработки по созданию кассетной видеозаписи, запоминающих электронно-вычислительных устройств, а также способов неразрушающих испытаний материалов.

Дисперсия света

Дисперсией света называется зависимость фазовой скорости электромагнитной волны в среде от ее частоты. Среда, в которых фазовая скорость зависит от частоты, называются *диспергирующими средами*. Фазовая скорость электромагнитной волны $v = \frac{c}{n}$, где c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления среды. Скорость света в вакууме величина постоянная, поэтому существование дисперсии в среде обусловлено тем, что показатель преломления среды n зависит от частоты ω . Если показатель преломления монотонно возрастает с увеличением частоты, то дисперсия называется *нормальной*. Если вещество поглощает часть лучей, то в области поглощения и вблизи нее наблюдается *аномальная* дисперсия. При аномальной дисперсии показатель преломления убывает с увеличением частоты. На рис. 51 показана зависимость показателя преломления для нормальной и аномальной дисперсии.

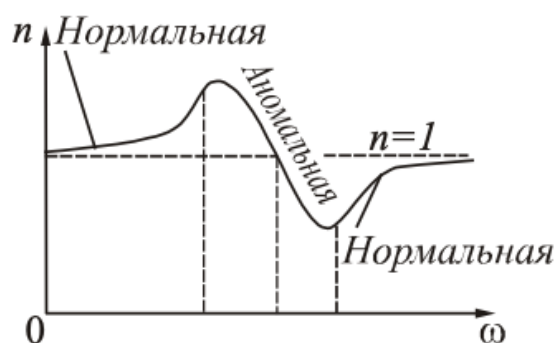


Рисунок 51

Обычное стекло прозрачно для видимого света, и в этой области частот наблюдается нормальная дисперсия света в стекле (рис. 52). Белый свет, пройдя через призму, образует радужный спектр. Фиолетовый луч преломляется больше, так как имеет большую частоту. В области инфракрасного и ультрафиолетового излучения для обычного стекла наблюдается аномальная дисперсия, так как оно поглощает эту часть спектра. Если в некотором диапазоне частот фазовая скорость волны не зависит от частоты, то говорят, что дисперсия отсутствует. Примером такой волны является электромагнитная волна в вакууме.

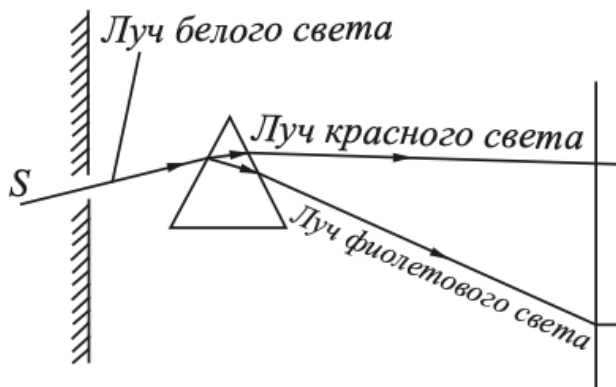


Рисунок 52

Поляризация света

Электромагнитные волны являются поперечными. Это означает, что вектор напряженности электрического поля \vec{E} и вектор напряженности магнитного поля \vec{H} ($\vec{E} \perp \vec{H}$) колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны (рис. 26). Направление колебаний светового вектора \vec{E} с течением времени может изменяться. Если все направления колебаний светового вектора в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, равновероятны, то свет называется **неполяризованным** или **естественным**. Если колебания вектора каким-либо образом упорядочены, то свет называется **поляризованным**. Упорядочение в ориентации векторов напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу называется **поляризацией света**. Поляризоваться могут только поперечные волны.

Для того чтобы определить, поляризован свет или нет, используют приборы, которые пропускают свет только с определенным направлением вектора \vec{E} . В зависимости от назначения их называют поляризаторами Π_1 или анализаторами Π_2 (рис. 53). Если свет неполяризованный, то при повороте анализатора вокруг горизонтальной оси интенсивность света, воспринимаемого фотоприемником, всегда одна и та же.

Кроме поляризованного света существует частично поляризованный свет. В этом случае направление светового вектора также изменяется хаотически, но имеется некоторое направление, при котором в среднем амплитуда колебаний больше. Для этого случая вводят понятие **степени поляризации**: вращая анализатор, определяют значения максимальной I_{max} и минимальной I_{min} интенсивности, воспринимаемой фотоприемником. Степень поляризации определяется выражением:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}.$$

Для неполяризованного света $I_{max} = I_{min}$, степень поляризации $P = 0$.

Если неполяризованный свет проходит через поляризатор, то он становится линейно или плоско поляризованным светом. При этом $I_{min} = 0$, а степень поляризации равна 1. Плоскость, в которой происходят колебания вектора \vec{E} и которая проходит через направление распространения волны, называется **плоскостью поляризации**.

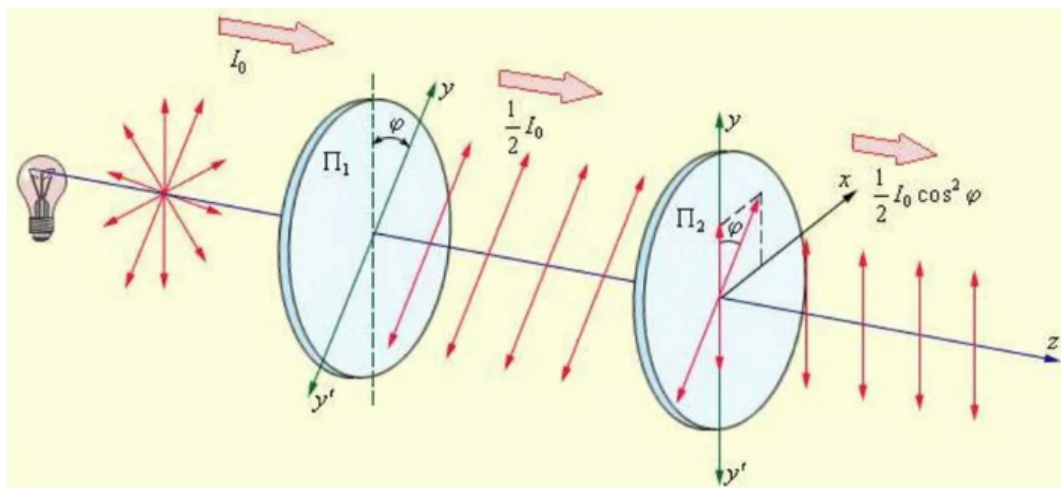


Рисунок 53

После прохождения системы поляризатор-анализатор интенсивность световой волны изменяется согласно *закону Малюса*

$$I = I_p \cos^2 \varphi,$$

где I_p — интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор, I — интенсивность света, вышедшего из анализатора, φ — угол между плоскостью поляризации луча, падающего на анализатор и плоскостью пропускания анализатора.

Если учесть что электромагнитные волны отражаются и поглощаются средами то закон Малюса можно переписать в виде:

$$I = I_p(1 - k) \cos^2 \varphi,$$

где k — коэффициент учитывающий потери.

Закон Брюстера: свет, отражённый от границы двух диэлектриков, полностью линейно поляризован при угле падения, тангенс которого равен относительному показателю преломления среды, отражающей свет (рис. 54)

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Б}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

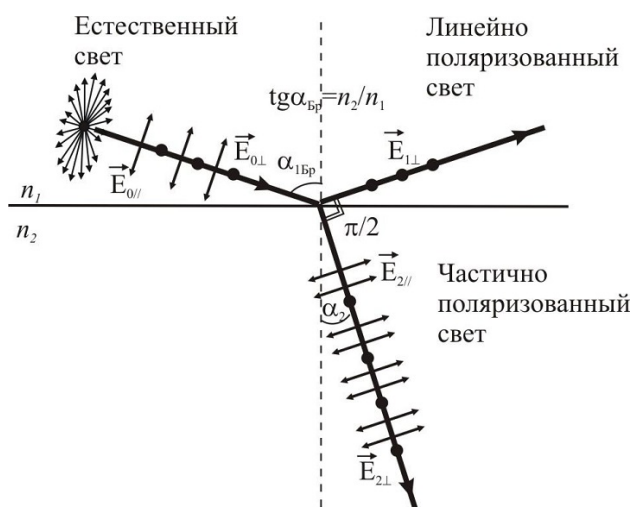


Рисунок 54

ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ФИЗИКУ

Квантовой оптикой называется раздел оптики, занимающийся изучением явлений, в которых проявляются квантовые свойства света. К таким явлениям относятся тепловое излучение, фотоэлектрический эффект, эффект Комптона.

Тепловое излучение. Закон Кирхгофа

Электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет его внутренней энергии, называется тепловым излучением.

Энергетический поток ($\Phi_{\text{Э}}$) – скалярная физическая величина, равная энергии электромагнитного излучения всех участков спектра, излучаемой за единицу времени:

$$\Phi_{\text{Э}} = \frac{dW}{dt}.$$

$$[\Phi_{\text{Э}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}$$

Энергетическая светимость ($R_{\text{Э}}$) – скалярная физическая величина, равная энергии, излучаемой с единицы поверхности за единицу времени во всем диапазоне длин волн (от 0 до ∞):

$$R_{\text{Э}} = \frac{W}{St}.$$

$$[R_{\text{Э}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Лучеиспускательной способностью или спектральной плотностью энергетической светимости тела называют величину $r_{\lambda,T}$, численно равную энергии теплового излучения тела в интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$ за единицу времени с единицы площади тела отнесенной к величине интервала длин волн $d\lambda$.

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR_{\text{Э}}}{d\lambda}.$$

$$[R_{\text{Э}}] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Поглощательная способность (монохроматический коэффициент поглощения) ($\alpha_{\lambda,T}$) – безразмерная физическая величина, показывающая какая доля энергии электромагнитных волн, падающих на тело, поглощается им:

$$\alpha_{\lambda,T} = \frac{dW_{\text{ПОГЛ}}}{dW_{\text{ПАД}}}.$$

По определению поглощательная способность не может быть больше единицы. Поглощательная способность реальных тел зависит от свойств вещества и спектрального состава падающего излучения (длины волны излучения).

Абсолютно чёрным телом называется тело, которое полностью поглощает все падающее на него излучение независимо от его спектрального состава и направления падающего излучения, ничего не отражая и не пропуская. Следовательно, поглощательная способность абсолютно чёрного тела тождественно равна единице.

Абсолютно чёрных тел в природе не существует. Сажа и платиновая чернь имеют поглощательную способность, близкую к единице, но в ограниченном интервале длин волн. В далекой инфракрасной области их поглощательная способность меньше единицы.

Моделью абсолютно чёрного тела может служить почти замкнутая полость с небольшим отверстием (рис. 55). Излучение, проникшее внутрь полости через отверстие O , многократно отражается от стенок. При каждом отражении часть энергии поглощается. В результате чего практически все излучение любой частоты полностью поглощается стенками полости независимо от материала. Абсолютно черное тело может быть совсем не черным, а даже очень ярким (рис. 56). Абсолютно черное тело согласно определению поглощает все падающее на его поверхность излучение, но поскольку тела не могут бесконечно нагреваться, то оно (тело) начинает излучать. Согласно закону сохранения энергии в состоянии термодинамического равновесия абсолютно черное тело излучает ровно столько энергии, сколько и поглощает. Характерным примером яркого абсолютно черного тела является фотосфера (видимая поверхность) Солнца, которая излучает энергию как абсолютно черное тело $T \sim 6000^{\circ}$. Максимум излучения приходится на длину волны $\lambda \approx 550$ нм.

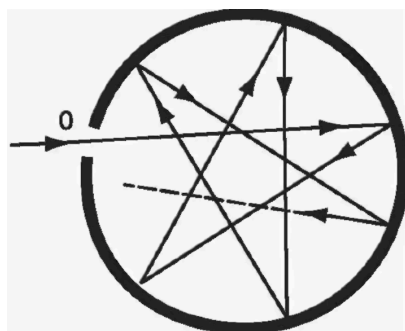


Рисунок 55

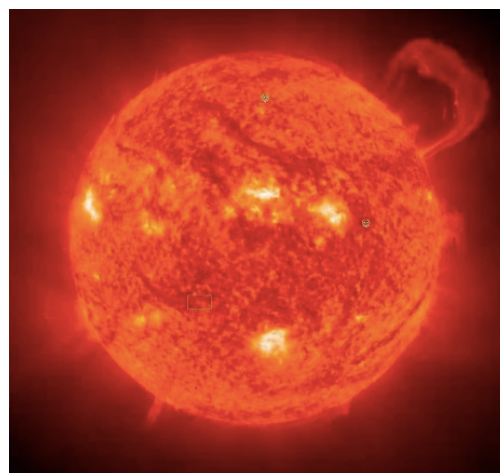


Рисунок 56

Серым телом называется тело, поглощательная способность которого меньше единицы и не зависит от длины волны (частоты) излучения и от абсолютной температуры.

Отражательная способность ($\rho_{\lambda,T}$) – безразмерная физическая величина, показывающая, какая доля энергии электромагнитных волн, падающих на тело, отражается им:

$$\rho_{\lambda,T} = \frac{dW_{\text{отр}}}{dW_{\text{пад}}}$$

Отражательная $\rho_{\lambda,T}$ способность зависит от свойств вещества и спектрального состава падающего излучения. Для реальных тел :

$$0 < \alpha_{\lambda,T} < 1 \text{ и } 0 < \rho_{\lambda,T} < 1.$$

Закон Кирхгофа

В 1859 году немецкий физик Кирхгоф установил связь между испускательной и поглощательной способностями непрозрачного тела: *Отношение испускательной способности к поглощательной способности не зависит от природы тел, а является для всех тел одной и той же универсальной функцией длины волны и температуры.*

$$\left(\frac{r_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}}\right)_1 = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}}\right)_2 = \left(\frac{r_{\lambda,T}}{\alpha_{\lambda,T}}\right)_3 = \dots = f(\lambda, T).$$

Для абсолютно чёрного тела поглощательная способность $\alpha_{\lambda,T} = 1$. Следовательно, из соотношения вытекает, что испускательная способность $r_{\lambda,T}$ для такого тела равна $f(\lambda, T)$. Таким образом, универсальная функция Кирхгофа – это испускательная способность абсолютно чёрного тела.

Закон Стефана-Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана. $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$, T – термодинамическая температура.

Энергия, испускаемая за время t абсолютно черным телом с излучающей поверхностью S при постоянной температуре T :

$$W = \sigma T^4 S t,$$

если температура изменяется с течением времени $T = T(t)$, то:

$$W = \int_0^t \sigma T^4(t) S dt.$$

Закон Стефана — Больцмана указывает на чрезвычайно быстрый рост мощности излучения с возрастанием температуры. Например при повышении температуры с $T_1 = 800$ К до $T_2 = 2400$ К излучение абсолютно черного тела возрастает в 81 раз.

Лучеиспускательной способностью $r_{\lambda,T}$ имеет максимум при некотором значении λ_m .

Закон смещения Вина: длина волны, на которую приходится максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости (испускательной способности) абсолютно чёрного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре:

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум величины $r_{\lambda,T}$, b – постоянная закона смещения Вина ($b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$).

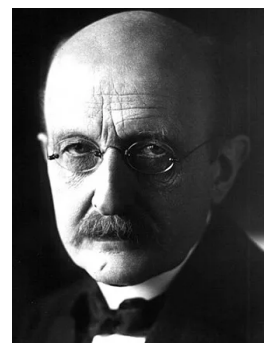
Гипотеза Планка. Формула Планка

В 1900 году М. Планк выдвинул новую гипотезу о природе излучения. Суть этой гипотезы заключается в следующем: **электромагнитное излучение испускается в виде отдельных порций энергии (квантов), величина которых пропорциональна частоте излучения.**

Энергия кванта (фотона):

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda_0},$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка, ν – частота света, λ_0 –



Макс Планк
(1858-1947)

длина волны света в вакууме, c – скорость света в вакууме.

Фотон – это элементарная частица, не имеющая массы покоя и движущаяся со скоростью света. Фотон существует только в движении. Масса покоя фотона равна нулю.

Масса фотона зависит от его энергии:

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda_0 c}.$$

Импульс фотона:

$$p = \frac{h}{\lambda_0} = \frac{h\nu}{c}.$$

Свет, кроме того что является электромагнитной волной (интерференция, дифракция и поляризация — явления которые объясняются волновой теорией), также является и потоком корпускул (фотонов). Корпускулярные свойства света проявляются в таком явлении как фотоэффект.

Фотоэффект

Внешним фотоэффектом называется явление испускания электронов поверхностью вещества под действием света. Электроны, вылетающие из вещества, называются **фотоэлектронами**, а электрический ток, образуемый ими при движении во внешнем электрическом поле, называется **фототоком**. Явление открыто Г. Герцем в 1887 году, основные закономерности установлены в 1888-1889 годах А. Г. Столетовым.

Внутри баллона (рис. 57) на один из электродов поступает свет через кварцевое «окошко», прозрачное не только для видимого света, но и для ультрафиолетового излучения. На электроды подается напряжение, которое можно менять с помощью потенциометра R и измерять вольтметром V . К освещаемому электроду (катод K) присоединяют отрицательный полюс батареи. Под действием света этот электрод испускает электроны, которые при движении в электрическом поле образуют электрический ток. При малых напряжениях не все вырванные светом электроны достигают другого электрода (анод A). Если, не меняя интенсивности излучения, увеличивать разность потенциалов между электродами, то сила тока так же увеличивается. При некотором напряжении она достигает максимального значения, после чего перестает изменяться (рис. 58).

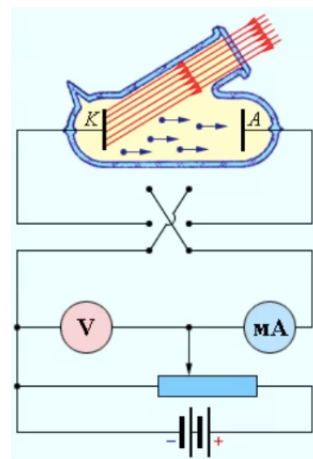


Рисунок 57

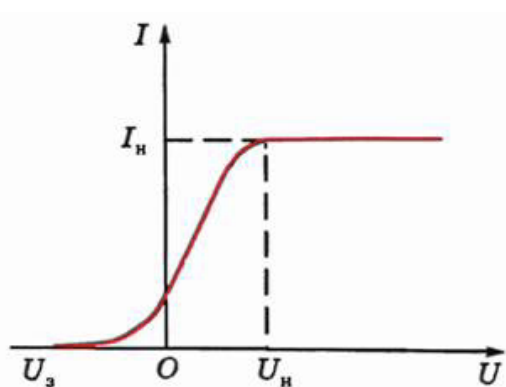


Рисунок 58

Из анализа этой кривой можно сделать следующие выводы:

1. При некотором не очень большом напряжении фототок достигает насыщения. Это значит, что все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. Сила тока насыщения I_H будет определяться количеством электронов, испускаемых катодом в единицу времени под действием света.

2. Пологий ход кривой указывает на то, что электроны вылетают из катода с различными по величине скоростями. При напряжении $U=0$ часть электронов долетает до анода «самостоятельно», без помощи ускоряющего поля.

3. Для того чтобы обратить силу тока в нуль, нужно приложить *задерживающее напряжение* U_3 . При таком напряжении ни одному из электронов, даже обладающему при вылете из катода наибольшим значением скорости ϑ_{max} не удастся достигнуть анода.

На основании экспериментов были установлены следующие *законы фотоэффекта*.

1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку при неизменном спектральном составе света, падающего на анод.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно зависит от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества существует минимальная частота света ν_0 при которой еще возможен фотоэффект. При $\nu < \nu_0$ (или при $\lambda > \lambda_0$) фотоэффекта нет. Длину волны λ_0 называют *красной границей фотоэффекта*.

В случае поглощения света веществом каждый поглощенный фотон передает всю свою энергию электрону. Часть этой энергии электрон затрачивает на совершение работы выхода $A_{ВЫХ}$ из вещества. Работой выхода называется минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону для того, чтобы удалить его из твердого или жидкого тела в вакуум. Остаток энергии образует кинетическую энергию электрона, покинувшего вещество. В этом случае по закону сохранения энергии должно выполняться соотношение (*формула Эйнштейна для фотоэффекта*):

$$h\nu = A_{ВЫХ} + \frac{m\vartheta_{max}^2}{2},$$

где $A_{ВЫХ}$ – работа выхода электрона с поверхности вещества, ϑ_{max} – максимальная скорость фотоэлектронов.

Для красной границы фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A_{ВЫХ}}{h} \text{ или } \lambda_0 = \frac{hc}{A_{ВЫХ}}.$$

Если приложить задерживающее напряжение U_3 , то фототок обращается в нуль. При этом работа электрического поля будет равна максимальной кинетической энергии вылетевших фотоэлектронов

$$\frac{m\vartheta_{max}^2}{2} = eU_3,$$

$$h\nu = A_{ВЫХ} + eU_3.$$

Наиболее отчетливо корпускулярные свойства света проявляются в явлении, которое было открыто в 1923 году и называется эффектом Комптона.

Эффект Комптона – рассеяние электромагнитного излучения на свободном электроне, сопровождающееся уменьшением частоты излучения. Рассеиваясь на покоящемся электроне, фотон передаёт ему часть своей энергии и импульса и меняет направление своего движения (рис. 59). Электрон в результате рассеяния начинает двигаться. Фотон после рассеяния будет иметь энергию (и частоту) меньшую, чем его энергия (и частота) до рассеяния. Соответственно после рассеяния длина волны фотона увеличится. Из законов сохранения энергии и импульса следует, что длина волны фотона после рассеяния увеличится на величину

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta),$$

где θ – угол рассеяния фотона, m_e – масса электрона, $\frac{h}{m_e c} = 0,024 \cdot 10^{-10}$ м называется комptonовской длиной волны электрона.

Изменение длины волны при комptonовском рассеянии не зависит от λ и определяется лишь углом θ рассеяния γ -кванта.

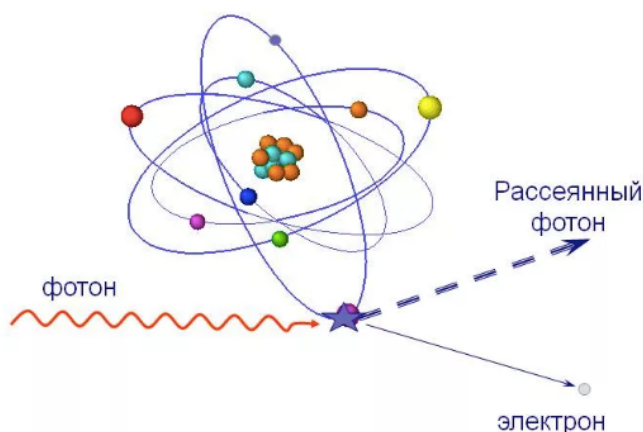


Рисунок 59

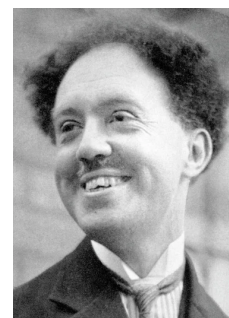
С точки зрения классической электродинамики рассеяние излучения с изменением частоты невозможно.

В 1924 году Луи де Бройль выдвинул гипотезу о том, что корпускулярно-волновая двойственность свойств имеет универсальный характер, т.е. частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые. Согласно гипотезе де Бройля, движение электрона или какой-либо другой частицы связано с волновым процессом, длина волны которого равна

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\vartheta}.$$

Идея де Бройля о волновых свойствах частиц получила экспериментальное подтверждение в опытах Дэвиссона и Джермера в 1927 г. И П.С. Тартаковского и Дж. П. Томсона.

Волны де Бройля, связанные с движущимися частицами вещества, не являются электромагнитными, то есть их распространение не связано с распространением какого-либо электромагнитного поля. Они имеют специфическую квантовую природу, не имеющую аналогии среди волн, изучающихся в классической физике.



Луи де Бройль
(1892-1987)

Чтобы выяснить природу волн, надо выяснить физический смысл амплитуды этих волн. Вместо амплитуды A выберем интенсивность волны, пропорциональную квадрату модуля амплитуды $|A|^2$.

Из опытов по дифракции электронов следует, что пучки электронов, отражённых или рассеянных по разным направлениям, распределяются неодинаково: в некоторых направлениях наблюдается большее число электронов, чем во всех других. С волновой точки зрения наличие максимумов числа электронов в некоторых направлениях означает, что эти направления соответствуют наибольшей интенсивности волн де Бройля. Если интенсивность волны в данной точке пространства больше, то больше и вероятность попадания электронов в эту точку за 1 с. Это даёт основание говорить о статистическом, вероятностном смысле волн де Бройля.

Квадрат модуля амплитуды волн де Бройля в данной точке является мерой вероятности того, что частица обнаруживается в этой точке.

Чтобы описать распределение вероятности нахождения частицы в данный момент времени в некоторой точке пространства, введём функцию $\psi(x, y, z, t)$.

Эту функцию называют *волновой* или *пси-функцией*. Интерпретация пси-функции была дана М. Борном в 1926 году. Определяется она так.

Вероятность $d\omega$ того, что частица находится в элементе объема dV , пропорциональна квадрату модуля волновой функции $|\psi|^2$

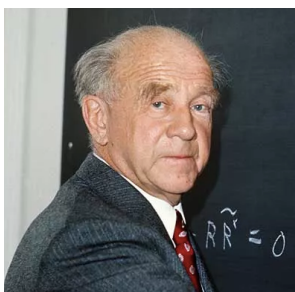
$$d\omega = |\psi|^2 dV = |\psi|^2 dx dy dz.$$

Физический смысл имеет не сама волновая функция $\psi(x, y, z, t)$, а квадрат её модуля — $|\psi|^2$. Величина $|\psi|^2$ имеет смысл *плотности вероятности*:

$$\rho_\omega = \frac{d\omega}{dV} = |\psi|^2,$$

т.е. определяет вероятность пребывания частицы в данной точке пространства. Волновая функция должна удовлетворять условию нормировки, так как положение частицы в каком либо месте пространство должно быть достоверным фактом

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dV = 1.$$



Вернер Гейзенберг
(1901-1976)

Математическим выражением одновременного наличия у микрочастиц волновых и корпускулярных свойств являются *соотношения неопределённости Гейзенберга*

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h, \quad \Delta y \cdot \Delta p_y \geq h, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq h.$$

Из соотношения неопределённости вытекает следующее: микрочастица не может иметь одновременно вполне определённые значения координаты x и импульса p_x . Это значит, что чем точнее для микрочастицы определена одна из величин — координата x или импульс p_x — тем больше становится неточность в определении другой. Для энергии и времени аналогично:

$$\Delta W \cdot \Delta t \geq h.$$

Атомом называется наименьшая частица вещества, обладающая всеми свойствами данного химического элемента. В состав атома входят положительно заряженное ядро и электроны, движущиеся в электрическом поле ядра. Заряд ядра по абсолютной величине равен суммарному заряду всех электронов атома. **Ионом** называется электрически заряженная частица, которая образуется при приобретении или потере электронов атомом или молекулой.

Простейшим атомом является атом водорода, состоящий из одного протона в ядре и одного электрона, движущегося в кулоновском электрическом поле ядра. **Водородоподобными** ионами являются ионы, имеющие ядро с зарядом Ze и один электрон. Например, ионы однократно ионизованного гелия – He^+ , двукратно ионизованного лития – Li^{++} и т.д. Единственный электрон водорода и водородоподобных ионов движется в кулоновском поле ядра и обладает потенциальной энергией

$$U(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r},$$

где Z — порядковый номер элемента, r — расстояние между ядром и электроном.

Квантовые числа

Волновая функция $\psi(x, y, z, t)$ зависит не только от пространственных координат, но и от целочисленных параметров n, l, m . Эти параметры называются **квантовыми числами**. Охарактеризуем каждое из них:

1. n — главное квантовое число. Принимает значения $1, 2, 3, \dots, n$. Соответствует номеру энергетического уровня.

2. l — орбитальное квантовое число. Принимает значения $0, 1, 2, 3, \dots, (n-1)$, то есть имеет n значений.

3. m — магнитное квантовое число. Принимает значения $0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$, то есть имеет $(2l+1)$ значений.

Конкретный набор квантовых чисел определяет конкретный вид волновой функции и, следовательно, форму и размеры электронного облака. Значениями квантовых чисел определяются также основные динамические характеристики: энергия электрона в атоме, момент импульса, магнитный момент, проекции момента импульса и магнитного момента на направление внешнего магнитного поля.

Ядерные силы

Ядро — это центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся масса атома и его положительный электрический заряд. В состав ядра входят протоны ${}_1^1p$ и нейтроны ${}_0^1n$.

Протон имеет положительный заряд, равный по величине заряду электрона: $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Масса протона $m_p = 1,00728$ а.е.м. $\approx 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Нейтрон не имеет заряда, т.е. $q = 0$. Масса нейтрона $m_n = 1,00866$ а.е.м. $\approx 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Открыт в 1932 году Чедвиком.

Протоны и нейтроны — называют нуклонами.

Масса атомного ядра практически совпадает с массой всего атома, так как масса электронов очень маленькая. Массы атомов измеряют в атомных единицах массы (обозначается а.е.м.): 1 а.е.м. $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

A — массовое число ядра — целое число, ближайшее к атомной массе, выраженной в а.е.м. Оно определяет число нуклонов, т.е. общее число протонов и нейтронов в ядре: $A = N + Z$. Тогда число нейтронов $N = A - Z$.

Ядра обозначаются тем же символом, что и нейтральный атом:

$${}^A_ZX \quad \text{или} \quad {}_Z X^A,$$

где X – символ химического элемента.

При измерениях масс атомов были обнаружены изотопы и изобары. **Изотопы** – ядра, имеющие одинаковый порядковый номер Z , но разное массовое число A . Водород имеет 3 изотопа: 1_1H – протий, 2_1H – дейтерий, которые являются стабильными и 3_1H – тритий, являющийся радиоактивным.

Изобары – ядра, имеющие одинаковое массовое число A , но разный порядковый номер Z . Например, изобары: ${}^{40}_{18}Ar$, ${}^{40}_{19}K$, ${}^{40}_{20}Ca$.

Изотоны — ядра имеющие одинаковое количество нейтронов, но разное число протонов (${}^{14}_7N$, ${}^{15}_8O$).

Ядро является системой частиц, подчиняющихся законам квантовой механики и, следовательно, соотношению неопределенностей Гейзенберга. Вследствие этого размеры области, в которой могут находиться ядерные частицы, могут быть заданы лишь с точностью, допускаемой этим соотношением. В первом приближении ядро считается шаром, радиус которого определяется эмпирической формулой:

$$R = R_0 \sqrt[3]{A},$$

где A – массовое число, величина $R_0 = (1,3 \div 1,5) \cdot 10^{-15} \text{ м}$ может быть истолкована как пропорциональность объёма ядра числу нуклонов. В ядерной физике принята следующая единица измерения размеров: $10^{-15} \text{ м} = 1 \text{ Ф}$ (ферми).

Объём ядра пропорционален числу нуклонов, т.е. плотность ядерного вещества примерно одинакова ($\sim 10^{17} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$). Очень высокая плотность говорит об исключительно высокой интенсивности ядерного взаимодействия.

Свойства ядерных сил

Ядерное взаимодействие между нуклонами называется **сильным взаимодействием**. Его можно описать с помощью поля **ядерных** сил, которые не сводятся ни к одному из ранее рассмотренных типов сил. Отличительные особенности ядерных сил.

1. Ядерные силы – это силы притяжения. Они не имеют электрического происхождения, являются короткодействующими.
2. Ядерные силы являются зарядово независимыми, т.е. ядерное взаимодействие двух нуклонов не зависит от того, обладают или нет электрическим зарядом оба нуклона.
3. Ядерные силы не являются центральными. Они зависят не только от расстояния между нуклонами, но от ориентации их спинов.
4. Для ядерных сил характерно насыщение. Насыщение проявляется в том, что нуклон взаимодействует не со всеми остальными нуклонами ядра, а лишь с некоторыми ближайшими соседями, причем не со всеми, даже если они находятся в радиусе действия сил.
5. Ядерные силы имеют обменный характер. Считается, что взаимодействие между двумя частицами осуществляется благодаря обмену третьей частицей. Юкава и Тамм сначала предсказали их существование а затем в 1947 г. они были обнаружены группой ученых под руководством Сесила Фрэнка Пауэлла. Названы эти частицы π -мезонами или пионами.

Дефект массы ядра. Энергия связи

Масс-спектрометрические измерения показали, что масса ядра меньше, чем сумма масс составляющих его нуклонов.

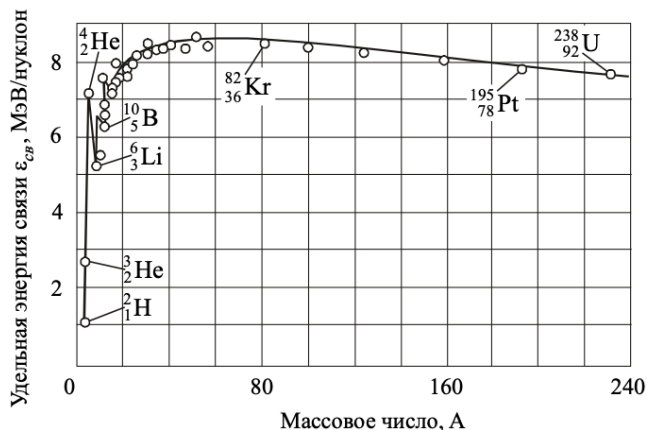
$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}.$$

Величина Δm называется *дефектом массы*.

Энергия связи ядра $E_{\text{св}}$ – энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны. Энергия связи:

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2 = (Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}})c^2.$$

Наиболее устойчивыми являются ядра средней части таблицы (рис. 60).



Рисунк 60

Легкие или тяжелые ядра менее устойчивы, т.е. энергетически выгодны следующие процессы:

1. Деление тяжелых ядер на более легкие (реакция деления). Реакции деления лежат в основе работы ядерных реакторов и ядерной бомбы.

2. Слияние легких ядер друг с другом в более тяжелые (требуют температуры $T \sim 10^8 \text{K}$, поэтому их называют термоядерными). Происходят в недрах Солнца и звезд. Неуправляемые термоядерные реакции происходят при взрыве водородной бомбы.

Это объясняется тем, что энергия будет выделяться при таких ядерных реакциях, при которых удельная энергия связи продуктов реакции будет превышать удельную энергию связи исходных ядер.

Ядерные реакции – превращения атомных ядер при их взаимодействии с элементарными частицами (в том числе и с γ -квантами) или друг с другом.

Символически ядерные реакции можно записать в виде: $X + \alpha \rightarrow Y + \beta$ или $X(\alpha, \beta)Y$, где X и Y – исходное и конечное ядра, α и β – бомбардирующая и испускаемая в ядерной реакции частица.

В любой ядерной реакции выполняются законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел:

Сумма зарядов ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов продуктов реакции (ядер и частиц).

Сумма массовых чисел ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме массовых чисел продуктов реакции (ядер и частиц).

Ядерная реакция характеризуется **энергетическим выходом ядерной реакции** Q , равным разности энергий исходной и конечной пар в реакции:

$$Q = \left(\sum_i m_i - \sum_k m_k \right) \cdot c^2,$$

где $\sum_i m_i$ – сумма масс частиц до реакции; $\sum_k m_k$ – сумма масс частиц после реакции.

Ядерные реакции могут быть:

- а) экзотермическими (с выделением тепла), при этом $\sum_i m_i > \sum_k m_k, Q > 0$;
 б) эндотермическими (с поглощением тепла), при этом $\sum_i m_i < \sum_k m_k (Q < 0)$.

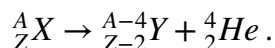
Радиоактивность – явление самопроизвольного (спонтанного) распада ядер, при котором образуется новое ядро, и испускаются элементарные частицы.

Ядро, испытывающее распад, называется материнским, возникающее ядро называется дочерним.

Естественная радиоактивность наблюдается в основном у тяжелых ядер, которые располагаются в периодической системе Менделеева за свинцом. Открыто явление Анри Беккерелем в 1896 году.

В зависимости от того, какая частица испускается, различают следующие виды распада:

1. **α -распад** – испускание α -частицы, т.е. ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Правило смещения для α -распада имеет вид:



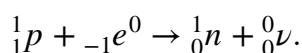
2. **β -превращение** – испускание:

а) электронов $-{}_1e^0$ (β^- -превращение) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}_{-1}e^0 + {}^0_0 \bar{\nu}$, где ${}^0_0 \bar{\nu}$ – антинейтрино,

б) позитронов $+{}_1e^0$ (β^+ -превращение) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}_{+1}e^0 + {}^0_0 \nu$, ${}^0_0 \nu$ – нейтрино.

Сущность β -превращения заключается во взаимном превращении нейтронов и протонов.

в) **K-захват** (электронный захват). Превращение протона в нейтрон идет по схеме



Электронный захват заключается в том, что один из электронов на ближайшем к ядру K-слое атома захватывается ядром.

3. **Гамма-излучение (γ -излучение)** – это жесткое электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda < 10^{-10}$ м. Обладает большой проникающей способностью, так как энергия квантов $\geq 10^4$ эВ.

Закон радиоактивного распада

Радиоактивный распад уменьшается с течением времени число нераспавшихся ядер. Самопроизвольный распад ядер подчиняется закону радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 – число ядер в данном объеме вещества в момент времени $t = 0$; N – число ядер в том же объеме к моменту времени t ; $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}}$ – постоянная распада, постоянная распада определяет скорость радиоактивного распада, $T_{1/2}$ – **период полураспада** в течение которого распадается по-

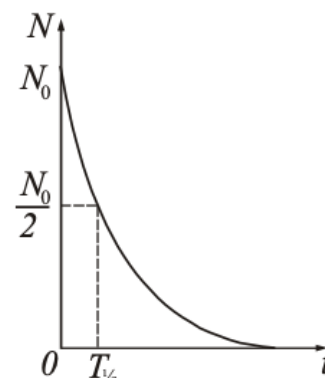


Рисунок 61

ловина первоначального количества ядер данного радиоактивного вещества (рис. 61). Период полураспада может меняться в очень широких пределах (от долей секунд до тысяч лет).

Величина $\tau = \frac{1}{\lambda}$ называется средней продолжительностью жизни (среднее время жизни) радиоактивного изотопа.

Закон самопроизвольного радиоактивного распада основывается на двух предположениях: 1) постоянная распада не зависит от внешних условий; 2) число ядер, распадающихся за время dt пропорционально начальному количеству ядер N_0 . Это означает, что закон радиоактивного распада является статистическим законом. Статистические законы можно применять только к большому количеству ядер. Закон радиоактивного распада не отвечает на вопрос, какое именно ядро распадется, т.к. все ядра неразличимы и распад данного ядра является случайным событием, имеющим ту или иную вероятность.

Часто бывает, что возникающие в результате радиоактивных превращений ядра в свою очередь оказываются радиоактивными. Новые продукты распада также могут оказаться радиоактивными, т.е. возникает целый ряд радиоактивных превращений.

Активность A радиоактивного образца равна числу распадов ядер, произошедших за единицу времени:

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N.$$

Единица измерения активности – беккерель (Бк) – один распад в одну секунду.

РАЗДЕЛ 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ

ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Построить график зависимости силы F взаимодействия между двумя точечными зарядами от расстояния r между ними в интервале $2 \leq r \leq 10$ см через каждые 2 см. Заряды $q_1 = 20$ нКл и $q_2 = 30$ нКл.
2. На двух одинаковых каплях воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электрического отталкивания капелек уравнивает силу их взаимного тяготения. Каковы радиусы капелек?
3. С какой силой F взаимодействовали бы в воздухе две капли воды массами по $m = 1$ г, расположенные на расстоянии $r = 50$ см друг от друга, если бы одной из них передали 10% всех электронов, содержащихся в другой капле?
4. Два металлических шарика имеют массу $m = 10$ г каждый. Какое число электронов N надо удалить с каждого шарика, чтобы сила их электростатического отталкивания стала равна силе их гравитационного тяготения друг к другу?
5. Два шарика массой $m = 0,1$ г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной $l = 20$ см каждая. Получив одинаковый заряд Q , шарика разошлись так, что нити образовали между собой угол 60° . Найти заряд каждого шарика.

6. Два одинаковых шарика, имеющих одинаковые заряды $q = 3,3$ мкКл, подвешены на одной высоте на тонких невесомых нитях равной длины (рис. 62). На одинаковом расстоянии от этих шариков, причем так что $h = 20$ см ниже их расположен заряд Q . Определить этот заряд, если известно, что нити висят вертикально, а расстояние между ними $d = 30$ см.

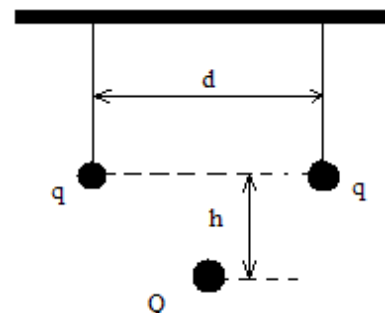


Рисунок 62

7. Вокруг отрицательного точечного заряда $q_0 = -15$ нКл равномерно движется по окружности под действием силы притяжения маленький заряженный шарик.

Чему равно отношение заряда шарика к его массе, если угловая скорость вращения шарика $\omega = 5$ рад/с, а радиус окружности $R = 3$ см?

6. Небольшой шарик, имеющий массу $m = 100$ мг и заряд $q_1 = 10$ нКл, вращается на непреходящей нити длиной $l = 20$ см в горизонтальной плоскости (конический маятник). Угол при вершине конуса 60° . Если в точке подвеса нити находится неподвижный точечный заряд $q_2 = 500$ нКл, то чему равна сила натяжения нитей?
7. Небольшой шарик массой $m = 100$ мг, имеющий заряд $q_1 = 10$ нКл, вращается на невесомой нити длиной $l = 20$ см в горизонтальной плоскости. Угол между нитью и вертикалью 30° . Если в центре окружности, описываемой шариком, находится точечный заряд $q_2 = 500$ нКл, то чему равен период вращения шарика?
8. Два точечных положительных заряда q_1 и q_2 помещены на расстоянии l друг от друга. Где надо поместить третий точечный заряд q_3 и каким он должен быть по модулю и знаку, чтобы все три заряда оказались в равновесии?
9. Три точечных отрицательных заряда $Q = -3$ нКл каждый находятся в вершинах равностороннего треугольника. Определите, какой заряд q следует поместить в центре треугольника, чтобы система находилась в равновесии.
10. Два равных по величине заряда $Q = 3$ нКл расположены в вершинах при острых углах равнобедренного прямоугольного треугольника на расстоянии $a = 2\sqrt{2}$ см. Определить, с какой силой эти два заряда действуют на третий заряд $q = 1$ нКл, расположенный в

- вершине при прямом угле треугольника. Рассмотреть случаи, когда первые два заряда одно- и разноименные.
11. В трех соседних вершинах правильного шестиугольника со стороной a расположены положительные заряды q , а в трех других — равные им по модулю, но отрицательные заряды. С какой силой F эти шесть зарядов будут действовать на заряд q_0 , помещенный в центр шестиугольника?
 12. В вершинах правильного шестиугольника со стороной $a = 10$ см расположены точечные заряды $q, 2q, 3q, 4q, 5q, 6q$ ($q = 0,1$ мкКл). Найти силу F , действующую на точечный заряд q_0 , лежащий в плоскости шестиугольника и равноудаленный от его вершин.
 13. В трёх вершинах равностороннего треугольника ABC разместили электрические заряды: в вершинах A и B — закреплённые электрические заряды $+q$ и $-q$ соответственно, в вершине C — незакреплённый электрический заряд $+q_1$. Укажите, в какой точке D плоскости ABC надо разместить ещё один электрический заряд $+q$, чтобы находящийся в точке C электрический заряд $+q_1$ находился в равновесии.
 14. Два одинаковых заряженных шарика массой m , повешенные на нитях равной длины, опускаются в жидкий диэлектрик, плотность которого ρ_1 и диэлектрическая проницаемость ϵ_1 . Какова должна быть плотность ρ материала шариков, чтобы углы их расхождения в воздухе и диэлектрике были одинаковы?
 15. Определите расстояние l между двумя одинаковыми точечными зарядами, находящимися в керосине с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$, если сила взаимодействия между ними такая же, как и в вакууме, на расстоянии $r = 14$ см.
 16. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 10$ мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от его конца находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определить силу F взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.
 17. Тонкая нить длиной $l = 20$ см равномерно заряжена с линейной плотностью $\tau = 10$ нКл/м. На расстоянии $a = 10$ см от нити, против ее середины, находится точечный заряд $q = 1$ нКл. Вычислить силу F , действующую на этот заряд со стороны заряженной нити.
 18. По тонкому полукольцу радиусом $R = 10$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью заряда $\tau = 1$ мкКл/м. В центре кривизны полукольца находится заряд $Q = 20$ нКл. Определить силу F взаимодействия точечного заряда и заряженного полукольца.
 19. Тонкий стержень длиной $l = 12$ см заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 400$ нКл/м. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $a = 5$ см от середины стержня.
 20. Тонкий стержень длиной $l = 10$ см заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 100$ нКл/м. Найти напряженность электрического поля в точке, расположенной на перпендикуляре к стержню, проведенном через один из его концов, на расстоянии $a = 8$ см от этого конца.
 21. По кольцу радиуса $R = 4$ см равномерно распределен заряд $q = 15$ нКл. Определите напряженность электрического поля в центре кольца, а также в точке, находящейся на расстоянии $h = 3$ см от центра кольца на прямой, проходящей через центр кольца и перпендикулярной к его плоскости.
 22. По тонкому полукольцу, радиус кривизны которого $R = 5$ см равномерно распределен заряд $q = 100$ мкКл. Какова напряженность электрического поля в точке, совпадающей с центром полукольца?
 23. На трети тонкого кольца радиусом $R = 2$ см равномерно распределен заряд $q = 30$ мкКл. Определить напряженность электрического поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

24. Две трети тонкого кольца радиусом $R = 10$ см несут равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau = 60$ мкКл/см. Вычислить напряженность электрического поля в точке, совпадающей с центром кольца.
25. Две бесконечно длинные разноименно заряженные нити расположены параллельно на расстоянии $a = 5$ см друг от друга. Линейная плотность заряда нитей $\tau_1 = 80$ нКл/см, $\tau_2 = 60$ нКл/см. Найти модуль напряженности результирующего электрического поля в точке, удаленной от первой нити на $d_1 = 3$ см, а от второй на $d_2 = 4$ см. Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечно длинной равномерно заряженной нитью.
26. Две бесконечно длинные одноименно заряженные нити расположены параллельно на расстоянии $a = 10$ см друг от друга. Линейная плотность заряда на нитях одинакова и равна $\tau = 200$ мкКл/м. Найти модуль напряженности результирующего электрического поля в точке, удаленной на $d = 10$ см от каждой из нитей. Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечно длинной равномерно заряженной нитью.
27. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью $\sigma = 400$ нКл/м², и бесконечной прямой нитью, заряженной с линейной плотностью $\tau = 100$ нКл/м. На расстоянии $a = 10$ см от нити находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определить силу F , действующую на заряд, ее направление, если заряд и нить лежат в одной плоскости, параллельной заряженной плоскости.
28. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по их поверхности заряд с поверхностными плотностями $\sigma_1 = 0,6$ пКл/см² и $\sigma_2 = -0,4$ пКл/см². Определить модуль напряженности результирующего поля между пластинами и вне пластин. Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечной равномерно заряженной плоскостью.
29. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по их поверхности заряд с поверхностными плотностями $\sigma_1 = 14$ пКл/см² и $\sigma_2 = 10$ пКл/см². Определить модуль напряженности результирующего поля между пластинами и вне пластин. Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечной равномерно заряженной плоскостью.
30. На двух концентрических сферах радиусами R и $3R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $-\sigma$ и σ . Используя теорему Гаусса, вычислить напряженность в точках, удаленных от центра на расстоянии $0,5R$, $2,5R$ и $3R$. Принять $\sigma = 0,2$ мкКл/м². Построить график зависимости $E(r)$.
31. На двух концентрических сферах радиусами R и $3R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями 2σ и σ . Используя теорему Гаусса, вычислить напряженность в точках, удаленных от центра на расстоянии $1,5R$ и $3R$. Принять $\sigma = 0,3$ мкКл/м². Построить график зависимости $E(r)$.
32. Шар радиусом $R = 3$ см заряжен с объемной плотностью $\rho = \rho_0/r^2$, где $\rho_0 = 10$ мкКл/м³. Найти модуль напряженности поля внутри, вне шара и на его поверхности.
33. Два одинаковых положительных точечных заряда Q находятся на расстоянии $2l = 10$ см друг от друга. Найти на прямой, являющейся осью симметрии этих зарядов, перпендикулярной линии соединяющей эти заряды, точку, в которой напряженность электрического поля имеет максимум.
34. Электрическое поле создано тонкой бесконечно длинной нитью, равномерно заряженной с линейной плотностью заряда $\tau = 30$ нКл/м. На расстоянии $a = 20$ см от нити находится плоская круглая площадка радиусом $R = 1$ см. Определить поток вектора напря-

- женности через эту площадку, еси плоскость ее составляет $\beta = 30^\circ$ с линией напряженности, проходящей через середину площадки.
35. Точечный заряд $Q = 25$ нКл находится в поле, созданном прямым бесконечным цилиндром радиусом $R = 1$ см, равномерно заряженным с поверхностной плотностью $\sigma = 2$ мкКл/м². Определить силу F , действующую на заряд, помещенный от оси цилиндра на расстоянии $r = 10$ см. Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечным цилиндром.
 36. Бесконечно длинный цилиндр радиуса R заряжен с объемной плотностью заряда $\rho = \alpha r$, где $\alpha = const$, r — расстояние от оси цилиндра. Найти $E(r)$.
 37. На оси бесконечно длинного полого цилиндра радиуса R расположена бесконечная нить, заряженная с линейной плотностью заряда τ . Пространство за цилиндром заряжено с объемной плотностью $\rho = \rho_0 r^{5/3}$, $\rho_0 = const$, r — расстояние от оси цилиндра. Найти $E(r)$.
 38. Какое поле создавали бы две безграничные плоскости, если бы одна была заряжена с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$, а другая -4σ , и плоскости были перпендикулярно друг другу? Вывести формулу для нахождения вектора напряженности электрического поля, созданного бесконечной равномерно заряженной плоскостью.
 39. Потенциал поля внутри заряженного шара $\varphi = ar^2 + b$, где a и b — постоянные. Найти зависимость объемной плотности заряда $\rho(r)$.
 40. Определить потенциал φ точки поля, находящейся на расстоянии $a = 19$ см от поверхности заряженного шара радиусом $R = 1$ см, если поверхностная плотность зарядов на шаре $\sigma = 2 \cdot 10^{-11}$ Кл/см².
 41. В трех вершинах квадрата со стороной $a = 20$ см находятся заряды $q_1 = 10$ нКл, $q_2 = 20$ нКл, $q_3 = 30$ нКл. Определить потенциал φ электрического поля, созданного этими зарядами в четвертой вершине.
 42. Два одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = 600$ нКл взаимодействуют с силой $F = 20$ Н в вакууме. Найти потенциал в центре отрезка, соединяющего эти заряды.
 43. N одинаковых шарообразных капель ртути одноименно заряжены до одного и того же потенциала φ . Каков будет потенциал φ_{big} большой капли ртути, получившейся в результате слияния этих капель?
 44. Три заряда $q_1 = 10$ нКл, $q_2 = 40$ нКл, $q_3 = -30$ нКл в вершинах правильного треугольника со стороной $a = 2$ см. Чему равна потенциальная энергия этой системы зарядов?
 45. Какую работу надо совершить, чтобы три одинаковых точечных положительных зарядов $q = 12$ нКл каждый, находящихся в вакууме вдоль одной прямой на расстоянии $a = 20$ см друг от друга, расположить в вершинах равностороннего треугольника со стороной $b = 10$ см.
 46. В электронно-лучевой трубке осциллографа электроны ускоряются, двигаясь в электрическом поле. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_0 = 600$ В электрон имел скорость $\vartheta = 20$ Мм/с. Определить потенциал точки поля, дойдя до которой электрон увеличит свою скорость втрое.
 47. Протон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $\vartheta = 120$ км/с. Напряженность электрического поля внутри конденсатора $E = 3$ кВ/м; длина конденсатора $l = 10$ см. Вычислить поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора. Во сколько раз модуль скорости протона при вылете из конденсатора будет больше, чем модуль его начальной скорости? Влиянием силы тяжести пренебречь.
 48. Первоначально покоящийся электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость $\vartheta = 2$ Мм/с. Расстояние между пластинами $d = 5,3$ мм. Найти разность потенциалов между пластинами, напряженность электриче-

- ского поля внутри конденсатора, поверхностную плотность заряда на пластинах. Влиянием силы тяжести пренебречь.
49. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v_0 = 4 \cdot 10^7$ м/с. Напряженность поля в конденсаторе $E = 100$ В/см, длина конденсатора $l = 91$ см. Найти модуль и направление скорости электрона в момент вылета его из конденсатора. На сколько отклонится электрон от первоначального направления?
 50. Между пластинами плоского воздушного горизонтально расположенного конденсатора находится заряженная капля масла массой $m = 3 \cdot 10^{-8}$ г. Заряд капли $q = 3 \cdot 10^{-15}$ Кл. При разности потенциалов между пластинами $\Delta\varphi = 500$ В и начальной скорости $v_0 = 0$ м/с капля проходит некоторое расстояние в 2 раза медленнее, чем при отсутствии электростатического поля. Найти расстояние между пластинами. Соппротивлением воздуха пренебречь.
 51. Электрон влетел в однородное электростатическое поле напряженностью $E = 400$ В/см со скоростью $v_0 = 0,4 \cdot 10^7$ м/с перпендикулярно силовым линиям. Вычислить модуль и направление скорости электрона в момент времени $t = 2$ нс.
 52. Пылинка массой $m = 10$ нг покоится в однородном электростатическом поле между пластинами конденсатора с разностью потенциалов между ними $\Delta\varphi = 6$ кВ и расстоянием $d = 6$ см. Какое надо приложить напряжение к пластинам, чтобы пылинка осталась в равновесии, потеряв заряд, равный заряду 4000 электронов?
 53. На тонком кольце радиуса R равномерно распределен заряд q . Какова наименьшая скорость которую необходимо сообщить находящемуся в центре кольца шарикку массы m с зарядом q_0 , чтобы он мог удалиться от кольца в бесконечность?
 54. Два точечных заряда $q_1 = q_2 = 10$ нКл закреплены на расстоянии $a = 5$ см друг от друга. Посередине между зарядами помещают заряженную частицу массой $m = 1$ мг и зарядом $q_3 = 36$ нКл и отпускают. Какую скорость приобретет частица на большом расстоянии от зарядов?
 55. Чему равна энергия взаимодействия системы четырех одинаковых зарядов $q = 4$ мкКл каждый, расположенных вдоль прямой линии так, что расстояние между зарядами равно $a = 25$ см.
 56. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 12$ см закреплены точечные заряды $q = 6$ мкКл каждый, а в третьей вершине находится частица массой $m = 6$ мг, несущая заряд $Q = -30$ нКл. Частицу отпускают, и она приходит в движение. Чему равна скорость частицы в тот момент, когда она находится точно между зарядами?
 57. Два частицы, имеющие массы $m_1 = 2$ г и $m_2 = 3$ мг и заряды $q_1 = 3$ мкКл и $q_2 = -12$ мкКл, удаляются друг от друга. В некоторый момент времени они находятся на расстоянии $a = 5$ м и имеют одинаковые скорости $v = 3$ м/с. Найдите наибольшее расстояние между частицами в процессе движения.
 58. Электростатическое поле создается сферой радиусом $R = 5$ см равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2$ нКл/м². Определите разность потенциалов между двумя точками поля, лежащими на расстояниях $r_1 = 10$ см и $r_2 = 12$ см от центра сферы.
 - Определите напряженность электростатического поля на расстоянии $d = 1$ см от оси коаксиального кабеля, если радиус его центральной жилы $r_1 = 1$ см а радиус оболочки $r_2 = 1,5$ см. Разность потенциалов между центральной жилой и оболочкой $\Delta\varphi = 2$ кВ.
 - Шар, погруженный в масло ($\epsilon = 2,2$), имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 5$ мкКл/м² и потенциал $\varphi = 0,5$ кВ. Определите: радиус, заряд, емкость и энергию шара.
 - Два маленьких шарика массой $m = 150$ г каждый, лежащие на гладкой горизонтальной поверхности, соединены недеформированной пружиной длиной $l_0 = 40$ см и жесткостью

$k = 10$ Н/м. После сообщения шарикам зарядов одного знака длина пружины стала равна $l = 80$ см. Какую минимальную одинаковую скорость надо сообщить шарикам навстречу друг другу, чтобы они сблизилась до прежнего расстояния?

- Два небольших тела массой $m = 50$ г каждое, заряженные одинаковым зарядом $q = 10$ мкКл, находятся на горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 2$ м друг от друга. Коэффициент трения тел о плоскость $\mu = 0,1$. Тела одновременно освобождают. На каком расстоянии друг от друга тела остановятся?
61. Конденсаторы соединены так, как показано на рис. 63. Чему равна емкость всей батареи, если емкость каждого конденсатора равна C .
62. Найти емкость батареи представленной на рис. 64.
63. Найти емкость батареи представленной на рис. 65.

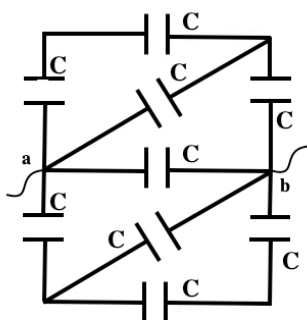


Рисунок 63

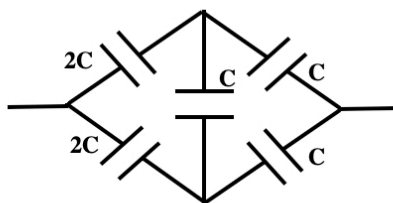


Рисунок 64

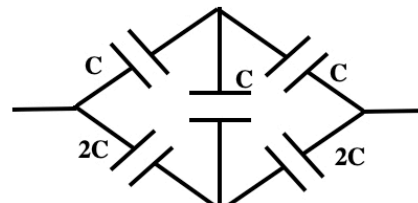


Рисунок 65

64. При последовательном соединении трех различных конденсаторов емкость цепи $C_0 = 1$ мкФ, а при параллельном соединении емкость цепи $C = 11$ мкФ. Найти емкости конденсаторов C_2 и C_3 , если емкость конденсатора $C_1 = 2$ мкФ.
65. Из проволоки сделан куб, в каждое ребро которого включено по одному конденсатору емкостью C . Найдите емкость батареи.
66. В плоский воздушный конденсатор с площадью обкладок S и расстоянием между ними d внесена параллельно обкладкам диэлектрическая пластинка с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$, которая расположена так, как показано на рис. 66. Во сколько раз изменится емкость конденсатора при внесении в него пластинки?
67. Четыре конденсатора емкостями $C_1 = 0,5$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ, $C_4 = 4$ мкФ, соединены как показано на рис. 67. К точкам A и B подводится напряжение $U = 140$ В. Найти заряд и напряжение на каждом из конденсаторов.

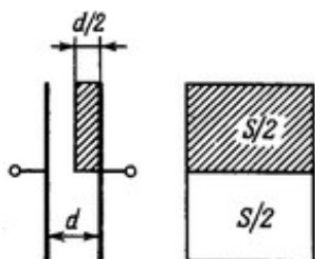


Рисунок 66

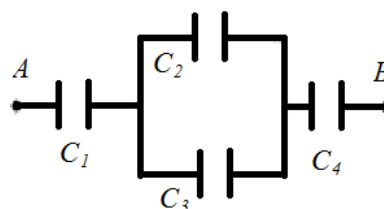


Рисунок 67

68. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику тока. Во сколько раз изменится напряженность электрического поля в одном из них, если другой заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$?

69. Найти емкость C сферического конденсатора, состоящего из двух концентрических сфер с радиусами $R_1 = 4,5$ см и $R_2 = 5$ см. Пространство между сферами заполнено маслом. Какой радиус R_0 должен иметь шар, помещенный в масло, чтобы иметь такую же емкость?
70. Проводник емкости $C_1 = 2$ мкФ заряжен до потенциала $\varphi_1 = 3000$ В, а проводник емкости $C_2 = 5$ мкФ – до потенциала $\varphi_2 = 6000$ В. Расстояние между проводниками велико по сравнению с их размерами. Какое количество теплоты Q выделится при соединении этих проводников тонкой проволокой?
71. Плоский воздушный конденсатор, заряженный до разности потенциалов $\Delta\varphi_0 = 800$ В, соединили параллельно с таким же по размерам незаряженным конденсатором, заполненным диэлектриком. Какова диэлектрическая проницаемость ϵ диэлектрика, если после соединения разность потенциалов между пластинами конденсаторов оказалась равной $\Delta\varphi = 100$ В?
72. Три последовательно соединенных конденсатора, емкости которых $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 10$ мкФ и $C_3 = 15$ мкФ, заряжаются от сети с напряжением $U = 120$ В. После отключения от сети конденсаторы разъединяются друг от друга без потери заряда. Если затем конденсаторы соединить параллельно, то чему будет равно напряжение на их зажимах?
73. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 100$ см² каждая, заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi = 4$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 0,5$ см. Диэлектрик — стекло. Определить энергию и объёмную плотность энергии электрического поля конденсатора.
74. При увеличении напряжения, поданного на конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ, в 2 раза энергия поля возросла $\Delta W = 0,3$ Дж. Найти начальные значения напряжения и энергии поля.
75. Расстояние между пластинами плоского конденсатора с диэлектриком из бумаги, пропитанной парафином, равно $d = 2$ мм, а напряжение между пластинами $U = 200$ В. Найти плотность энергии поля между пластинами конденсатора.
76. Площадь каждой из пластин плоского конденсатора $S = 200$ см², а расстояние между ними $d = 1$ см. Какова энергия поля, если напряженность поля $E = 500$ кВ/м.
77. Определить работу A , которую нужно совершить, чтобы увеличить на $\Delta d = 0,2$ мм расстояние d между пластинами плоского конденсатора, заряженными разноименными зарядами $q = 0,2$ мкКл. Площадь каждой пластины $S = 400$ см². В зазоре между пластинами находится воздух.
78. Шар, погруженный в керосин, имеет потенциал $\varphi = 6$ кВ и поверхностную плотность заряда $\sigma = 12$ мкКл/м². Найти радиус R , заряд q , емкость C и энергию шара W .
79. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком и на его пластины подана некоторая разность потенциалов. Его энергия при этом $W = 20$ мкДж. После того как конденсатор отключили от источника напряжения, диэлектрик вынули из конденсатора. Работа, которую надо было совершить против сил электрического поля, чтобы вынуть диэлектрик $W = 70$ мкДж. Найти диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика.
80. Посередине между обкладками плоского воздушного конденсатора вставляется металлическая пластина толщиной $d_0 = 2$ мм. Заряд на обкладках конденсатора $q = 0,1$ мкКл. Конденсатор отключен от источника. Расстояние между пластинами $d_0 = 4$ мм, площадь пластин $S = 50$ см². Определите как изменилась емкость конденсатора и его энергия.
81. Определить заряд q , прошедший по проводу с сопротивлением $R = 6$ Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_1 = 2$ В до $U_2 = 6$ В в течение $t = 10$ с.

82. Определить заряд q , прошедший по проводу с сопротивлением $R = 10$ Ом за время $t = 10$ с если напряжение на его концах изменяется со временем t по закону $U(t) = 100 - 5t$.
83. Ток I в проводнике меняется со временем t по закону $I(t) = 1 + 0,5t$. Определить заряд q , прошедший через поперечное сечение проводника за время $t = 10$ с. При каком постоянном токе I_{const} через поперечное сечение проводника за то же время протекает такой же заряд q ?
84. На цоколе электрической лампочки написано «220 В, 60 Вт». В процессе работы из-за испарения и рассеяния металла спираль лампочки становится тоньше. Какова будет мощность лампочки, если диаметр волоска спирали уменьшится на 10%.
85. На катушку намотан круглый стальной провод диаметром $d = 1,2$ мм. Масса провода $m = 0,2$ кг. На катушку подается напряжение $U = 53,8$ В. Определите силу тока, идущего по проводу, если он нагрелся до температуры $T_2 = 393$ К. Удельное сопротивление стали при $T_1 = 293$ К равно $\rho_1 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ Ом · м, температурный коэффициент сопротивления стали $\alpha = 6 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹. Плотность стали $\rho = 7800$ кг/м³.
86. Электрический прибор подключен к источнику питания двумя длинными проводами сечения $S_0 = 1$ мм² каждый. При включении прибора выяснилось, что напряжение на приборе меньше напряжения на выходе источника питания на 10%. Какой должна быть площадь сечения подводящих проводов той же длины, для того чтобы напряжение уменьшилось только на 1%?
87. Линия имеет сопротивление $R = 3$ кОм. Какое напряжение должен иметь генератор, чтобы при передаче по этой линии к потребителю мощности $P = 25$ кВт потери в линии не превышали 4% от передаваемой мощности?
88. При подключении вольтметра с сопротивлением $R_v = 200$ Ом непосредственно к клеммам источника он показывает $U = 20$ В. Если же этот источник замкнуть на сопротивление $R = 8$ Ом, то ток в цепи становится $I = 0,5$ А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление источника.
89. Имеются два резистора с сопротивлениями $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 4,5$ Ом. Их подключают к источнику тока сначала параллельно, а затем последовательно. При каком значении внутреннего сопротивления r источника тока в обоих случаях во внешней цепи выделяется одинаковая мощность?
90. К клеммам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС батареи $\varepsilon = 24$ В, внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P = 80$ Вт. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.
91. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 50$ Ом ток в цепи $I_1 = 0,2$ А, а при $R_1 = 110$ Ом ток в цепи $I_2 = 0,1$ А.
92. Определить ток короткого замыкания для источника, который при токе в цепи $I_1 = 10$ А имеет полезную мощность $P_1 = 500$ Вт, а при токе $I_2 = 5$ А полезную мощность $P_2 = 375$ Вт.
93. При поочередном подключении к источнику тока двух электрических нагревателей с сопротивлениями $R_1 = 3$ Ом и $R_2 = 48$ Ом в них выделяется одинаковая мощность $P = 1,2$ кВт. Определите силу тока короткого замыкания $I_{кз}$ источника.
94. Когда сопротивление внешней части источника тока уменьшили на 30%, ток увеличился на 30%. На сколько процентов увеличился ток, если сопротивление внешней части цепи уменьшили на 50%?
95. Величина тока в проводнике сопротивлением $R = 50$ Ом нарастает в течение времени $t = 10$ с по линейному закону от $I_1 = 0,5$ А до $I_1 = 3$ А. Определить теплоту, выделившуюся в этом проводнике за первую, и десятую секунды.
96. Электропечь должна давать количество теплоты $Q = 50$ кДж за время $t = 5$ с. Какова должна быть длина нихромовой проволоки сечения $S = 0,5$ мм², если печь предназна-

ется для сети с напряжением $U = 220$ В? Удельное сопротивление нихрома $\rho = 1,21$ мкОм · м.

97. Какое наименьшее число N одинаковых источников питания с ЭДС $\varepsilon = 1$ В и внутренним сопротивлением $r = 50$ Ом необходимо взять, чтобы на внешнем сопротивлении $R = 10$ Ом выделялась максимальная мощность? Максимальная сила тока $I_{max} = 2$ А.
98. Электрический чайник, имеет две секции нагревателя. При включении первой секции чайник закипает через 10 мин, при включении второй — через 30 мин. Через сколько времени чайник вскипит, если обмотки включить 1) последовательно; 2) параллельно? Начальные температура и масса воды в чайнике одинаковы в обоих случаях.
99. По проводнику с сопротивлением $R = 12$ Ом пропускали постоянный ток в течение $t = 9$ с. Какое количество теплоты выделилось в проводнике за это время, если через его сечение прошел заряд $q = 3$ Кл?
100. К зажимам аккумуляторной батареи, имеющей ЭДС, равную $\varepsilon = 24$ В, и внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, присоединен нагреватель. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P = 80$ Вт. Определите силу тока в цепи и коэффициент полезного действия источника тока.
101. Найти величины токов во всех участках цепи, схема которой изображена на рис. 68, если ЭДС источника тока $\varepsilon_1 = 10$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В, внутренние сопротивления источников $r_1 = 5$ Ом, $r_2 = 2$ Ом, $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = R_3 = 20$ Ом.
102. Найти величину тока через сопротивление R_3 , если $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 15$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 15$ Ом, $R_5 = 10$ Ом, ЭДС источников тока одинаковы и равны $\varepsilon = 10$ В (рис. 69).
103. Найти величины токов во всех участках цепи, схема которой приведена на рис. 70, если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 50$ Ом, $\varepsilon_1 = 10$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В.
104. Найти величины токов во всех участках цепи, схема которой приведена на рис. 70, если $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 15$ Ом, $\varepsilon_1 = 5$ В, $\varepsilon_2 = 15$ В.

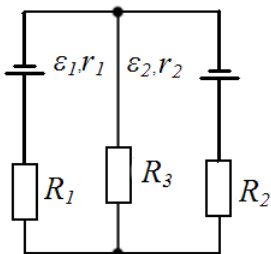


Рисунок 68

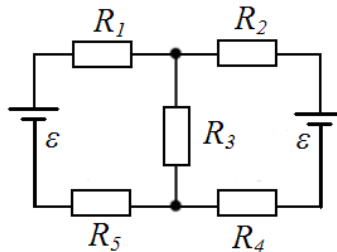


Рисунок 69

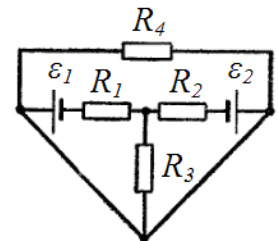


Рисунок 70

105. В цепи, схема которой представлена на рис. 71, ЭДС источника тока $\varepsilon_1 = 5$ В, внутреннее сопротивление источника тока $r_1 = 1$ Ом, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 5$ Ом. Найти силы токов в резисторах R_2 и R_3 .
106. Определить силу тока, текущего через элемент ε_2 в цепи, схема которой представлена на рис. 72, если $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 3$ В, $\varepsilon_3 = 1$ В, $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 0,5$ Ом, $r_3 = 2$ Ом, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 15$ Ом.
107. В цепи, схема которой изображена на рис. 73, $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 3$ В, $\varepsilon_3 = 5$ В, сопротивления $R_1 = R_2 = R_3 = 20$ Ом. Определите силу токов, протекающих через сопротивления и источники. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

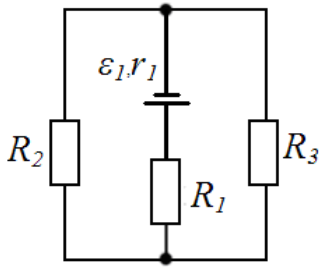


Рисунок 71

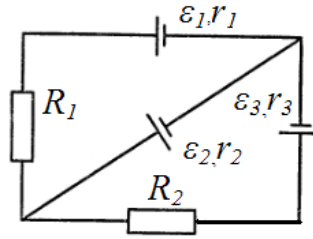


Рисунок 72

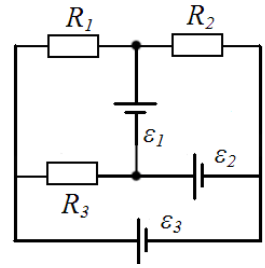


Рисунок 73

108. В электрической цепи, схема которой приведена на рис. 74, $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 50 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, ЭДС элемента $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$. Через гальванометр идет ток $I_G = 50 \text{ мА}$ в направлении указанном стрелкой. Определить ЭДС второго источника. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элемента пренебречь.
109. Три одинаковых элемента с ЭДС $\varepsilon = 6 \text{ В}$ и резисторы с сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$ каждый включены в цепь, схема которой представлена на рис. 75. Найдите мощность, выделяющуюся на всех резисторах схемы. Внутренними сопротивлениями элементов пренебречь.
110. Две батареи аккумуляторов $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 8 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$, $r_1 = 2,5 \text{ Ом}$ и реостат $R = 20 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рис. 76. Найти силу тока в батареях и реостате.

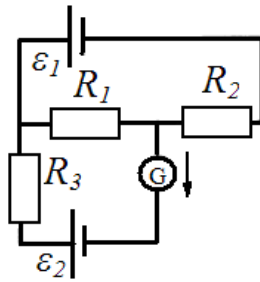


Рисунок 74

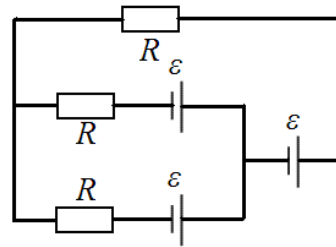


Рисунок 75

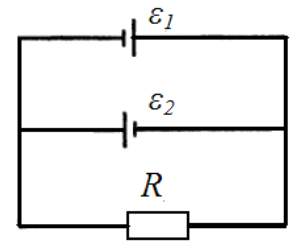


Рисунок 76

111. Три батареи с ЭДС $\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 5 \text{ В}$, $\varepsilon_3 = 10 \text{ В}$ и одинаковыми внутренними сопротивлениями $r = 1 \text{ Ом}$, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I , идущих через каждую батарею.
112. В схеме, изображённой на рис. 77, найдите ток через резистор сопротивлением $5R$. Величины ε и R известны. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.
113. В цепи, схема которой приведена на рис. 78, сопротивления всех резисторов одинаковы $R_1 = R_2 = R_3 = R$. Определите значения и направления токов, протекающих по каждому резистору. Внутренним сопротивлением батарей пренебречь.

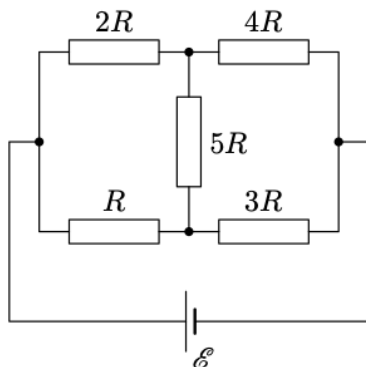


Рисунок 77

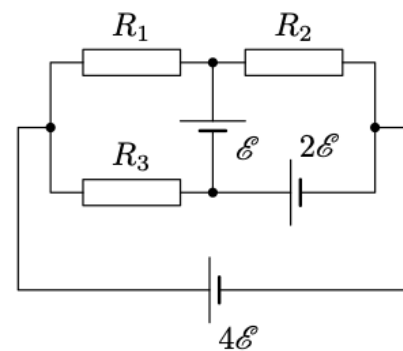


Рисунок 78

114. В электрической цепи, схема которой показана на рис. 79, все элементы идеальные, их параметры указаны. Найти ток через ключ K с указанием направления после замыкания ключа. Найти отношение напряжений между точками A и B после и до замыкания ключа.
115. В электрической цепи, схема которой показана на рис. 80, все элементы идеальные, их параметры указаны. Найти ток через ключ K с указанием направления после замыкания ключа. Найти отношение напряжений между точками A и B после и до замыкания ключа.

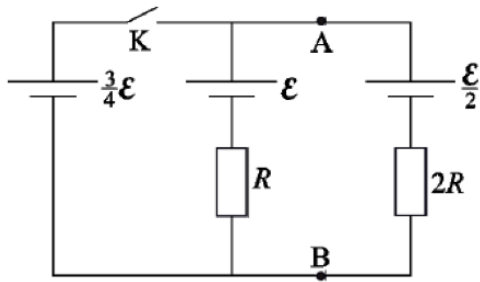


Рисунок 79

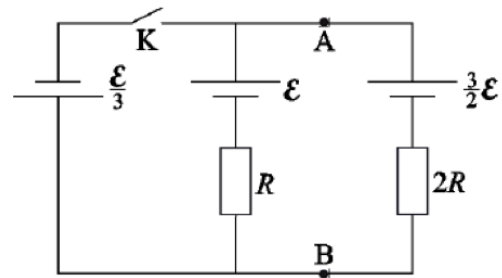


Рисунок 80

116. Электрическая цепь, схема которой показана на рис. 81, содержит три одинаковых источника с ЭДС $\varepsilon = 1,5$ В с нулевым внутренним сопротивлением и три резистора, два которых имеют сопротивление $R = 100$ Ом, а третий — $2R$. Найти ток через средний источник. Сопротивления проводов пренебрежимо малы.
117. В электрической цепи, схема которой изображена на рис. 82, ЭДС источников равны 3ε и 2ε , сопротивления резисторов составляют R , $2R$ и $R_x = 3R$. На сколько процентов изменится сила тока, проходящего через амперметр, если сопротивление переменного резистора R_x увеличить на 5%?

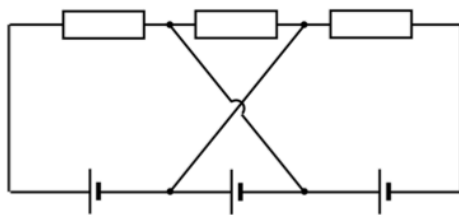


Рисунок 81

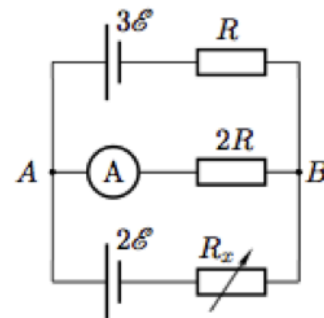


Рисунок 82

118. Найдите показания идеального вольтметра в схеме на рис. 83, если ЭДС идеального источника $\varepsilon = 70$ В. Какими станут показания вольтметра, если его поменять местами с источником?

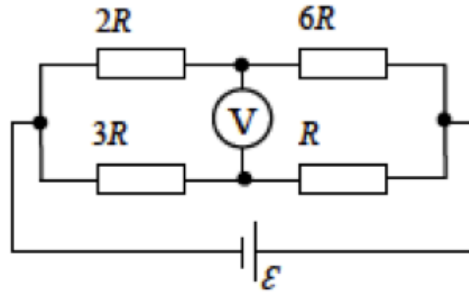


Рисунок 83

119. В схеме, изображенной на рис. 84, определить показания амперметров и вольтметра. Приборы считать идеальными.
120. Определите разность потенциалов между точками a и b в схеме, изображенной на рис. 85. Параметры схемы указаны.

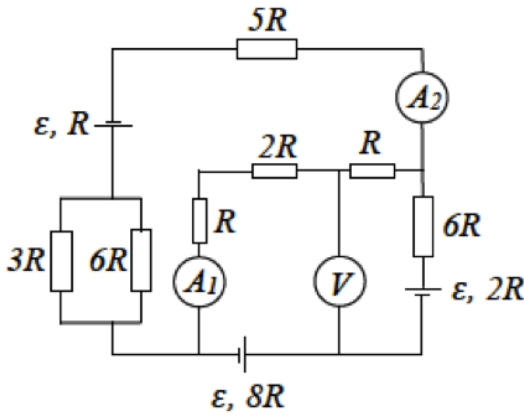


Рисунок 84

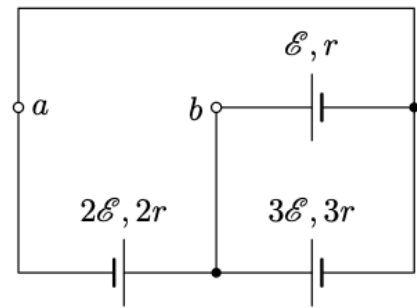


Рисунок 85

121. Ток $I = 15$ А течет по тонкому проводнику, изогнутому как показано на рис. 86. Радиус изогнутой части проводника $R = 2,5$ м, угол $2\varphi = 90^\circ$. Найти индукцию магнитного поля в точке O .
122. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 5$ А имеет вид, показанный на рис. 87. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 2$ м. Прямолинейные участки проводника предполагаются очень длинными.
123. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 10$ А имеет вид, показанный на рис. 88. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 5$ м. Прямолинейные участки проводника предполагаются очень длинными.

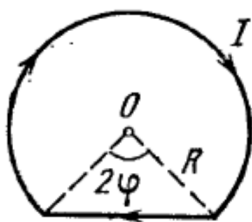


Рисунок 86



Рисунок 87



Рисунок 88

124. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 2$ А имеет вид, показанный на рис. 89. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 2$ м. Прямолinéйные участки проводника предполагаются очень длинными.
125. Найти величину тока в бесконечно длинном проводнике, который имеет квадратный изгиб, изображенный на рис. 90 со стороной $a = 15$ см, если модуль магнитной индукции поля в точке A , равен $B = 50$ мкТл.
126. Определите индукцию магнитного поля B в точке A (см. рис. 91), если по проводнику течет ток $I = 10$ А, а сторона треугольника $a = 5$ см.

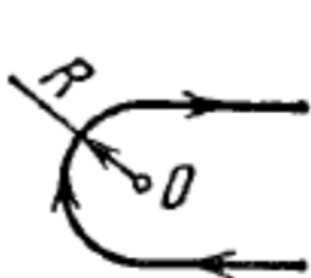


Рисунок 89

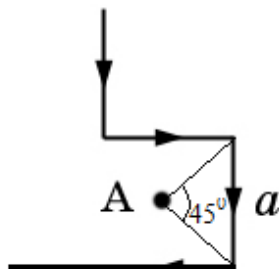


Рисунок 90

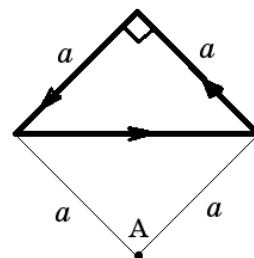


Рисунок 91

127. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 1$ А имеет вид, показанный на рис. 92. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 5$ м. Прямолinéйные участки проводника предполагаются очень длинными.
128. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 10$ А имеет вид, показанный на рис. 93. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 50$ см. Прямолinéйные участки проводника предполагаются очень длинными.
129. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 5$ А имеет вид, показанный на рис. 94. Радиус изогнутой части проводника равен $R = 4$ м. Прямолinéйные участки проводника предполагаются очень длинными.



Рисунок 92



Рисунок 93

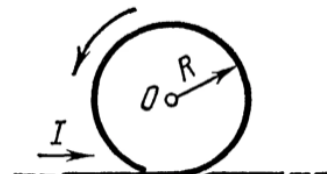


Рисунок 94

130. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут токи силы $I = 15$ А в противоположных направлениях, расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Определите индукцию магнитного поля B в точке, находящейся на расстоянии $r = 5$ см от каждого проводника.
131. Ток $I = 60$ А идет по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $d = 20$ см.
132. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 80$ см и $b = 60$ см, течет ток силы $I = 25$ А. Определите напряженность магнитного поля H в точке пересечения диагоналей прямоугольника.
133. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Как нужно изменить силу тока в проводнике, что, придав проводнику форму квадрата магнитная индукция в центре контура не изменится?

134. Индукция магнитного поля в центре кругового витка радиусом $R = 11$ см равна $B = 80$ мкТл. Найти индукцию магнитного поля на оси витка на расстоянии $d = 10$ см от его плоскости.
135. Маленький шарик с зарядом $q = 5 \cdot 10^{-7}$ Кл, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длины $L = 1$ м, движется равномерно по окружности в горизонтальной плоскости так, что нить все время образует с вертикалью угол $\alpha = 60^\circ$. Определите напряженность магнитного поля в центре окружности, рассматривая движение шарика как круговой ток.
136. Определить магнитную индукцию поля, создаваемого током $I = 30$ А, текущим по проводу, согнутому в виде правильного треугольника со стороной $a = 30$ см, в вершине правильного тетраэдра для которого этот треугольник служит основанием.
137. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 25$ А имеет вид, показанный на рис. 95. Радиусы изогнутых частей проводника равны $R_a = 1$ м и $R_b = 2$ м. Угол $\varphi = 90^\circ$.
138. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 50$ А имеет вид, показанный на рис. 96. Радиус изогнутой части проводника равны $R_a = 1$ м, а $b = 2$ м.
139. Найти индукцию магнитного поля в точке O , если проводник с током $I = 10$ А имеет вид, показанный на рис. 97. Радиус изогнутой части проводника равны $R = 2$ м. Прямолинейные участки проводника предполагаются очень длинными.

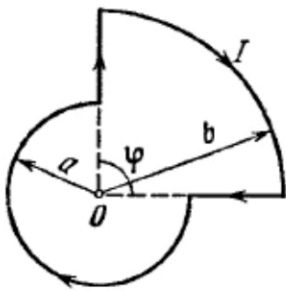


Рисунок 95

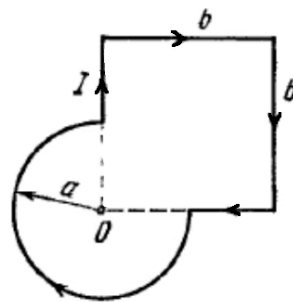


Рисунок 96

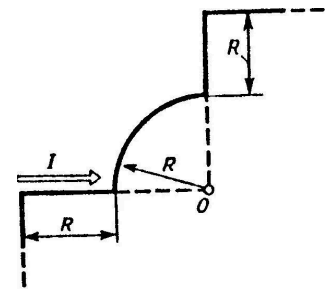


Рисунок 97

140. По проволочной рамке, имеющей форму правильной шестиугольника, идет ток $I = 2$ А. При этом в центре рамки образуется магнитное поле напряженностью $H = 33$ А/м. Найти длину проволоки l из которой сделана рамка.
141. По наклонной плоскости, находящейся в вакууме в однородном магнитном поле, равномерно соскальзывает тело, заряд которого $q = 2\sqrt{2}$ мКл, а масса $m = 6$ г. Линии индукции магнитного поля направлены горизонтально и параллельно плоскости. Модуль магнитной индукции $B = 1$ Тл. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 45^\circ$. Если коэффициент трения скольжения $\mu = 0,05$, то модуль скорости v тела равен...
142. α -частица влетает по нормали в область поперечного однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,4$ Тл. Размер области $h = 0,5$ м. Найти скорость частицы, если после прохождения магнитного поля она отклонилась на угол $\varphi = 30^\circ$ от первоначального направления.
143. Электрон движется по окружности радиуса $R = 10$ мм в магнитном поле с индукцией $B = 0,02$ Тл. Какова кинетическая энергия и период обращения электрона? Найти радиус окружности по которой двигалась бы α -частица в данном поле, имея скорость вращения такую же как и электрон.
144. Два иона (1 и 2) с одинаковыми зарядами $q_1 = q_2$, вылетевшие одновременно из точки O , равномерно движутся по окружности под действием однородного магнитного поля, линии индукции B которого перпендикулярны плоскости рисунка. На рис. 98 показаны

траектории этих частиц в некоторый момент времени t_1 . Если масса первой частицы $m_1 = 36$ а.е.м., то чему равна масса второй частицы m_2 ?

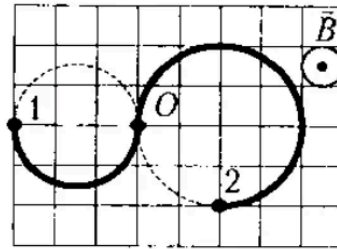


Рисунок 98

145. Две частицы массами $m_1 = m_2 = 0,8 \cdot 10^{-12}$ кг, заряды которых $q_1 = q_2 = 1,0 \cdot 10^{-10}$ Кл, движутся в вакууме в однородном магнитном поле, индукция B которого перпендикулярна их скоростям. Расстояние $l = 100$ см между частицами остается постоянным. Модули скоростей частиц $v_1 = v_2 = 25$ м/с, а их направления противоположными в любой момент времени. Если пренебречь влиянием магнитного поля, создаваемого частицами, то чему равен модуль магнитной индукции поля?
146. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны R_p траектории протона больше радиуса кривизны R_e траектории электрона?
147. Найти кинетическую энергию W (в электрон-вольтах) α -частицы, движущейся по дуге окружности радиусом $R = 80$ см в магнитном поле с индукцией $B = 3$ Тл.
148. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью $v = 2 \cdot 10^6$ м/с. Индукция магнитного поля $B = 0,45$ Тл, радиус окружности $R = 6$ см. Найти заряд q частицы, если известно, что ее энергия $W = 27$ кэВ.
149. Протон, кинетическая энергия которого $W = 250$ эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению его движения. Индукция магнитного поля $B = 0,5$ Тл. Найти силу F , действующую на протон, радиус R окружности по которой движется частица и период обращения его T .
150. Найти удельный заряд для частицы, если она, влетая со скоростью $v = 2 \cdot 10^6$ м/с в однородное магнитное поле напряженностью $H = 200$ кА/м, движется по дуге окружности радиусом $R = 8,3$ см. Направление скорости движения частицы перпендикулярно к направлению магнитного поля. Сравнить найденное значение со значением удельного заряда электрона, протона, α -частицы.
151. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi = 10$ кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению поля и движется по винтовой траектории. Индукция магнитного поля $B = 2$ мТл. Найти радиус и шаг винтовой траектории.
152. Однородные магнитное и электрическое поля направлены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля $E = 0,5$ кВ/м, индукция магнитного поля $B = 1$ мТл. Определите, с какой скоростью v и в каком направлении должен лететь электрон, чтобы двигаться прямолинейно.
153. Однозарядные ионы, массовые числа которых $A_1 = 20$ и $A_2 = 22$, разгоняются в электрическом поле при разности потенциалов $\Delta\varphi = 4$ кВ, затем влетают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,25$ Тл перпендикулярно магнитным линиям и, описав полуокружность, вылетают двумя пучками. Определить расстояние между этими пучками. Заряд одновалентного иона $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, атомная единица массы $m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

154. Заряженные частицы $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, ускоряются в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл частотой ускоряющего напряжения $\nu = 6$ МГц. Найти кинетическую энергию частиц в момент, когда они движутся по окружности с радиусом $R = 2$ м.
155. Винтовая линия, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр $d = 50$ мм и шаг $l = 150$ мм. Индукция поля $B = 4$ мТл. Определить скорость электрона v .
156. В циклотроне для тяжелых ионов в Дубне ионы неона разгоняются до энергии $W = 100$ МэВ. Диаметр дуантов $d = 310$ см, индукция магнитного поля в зазоре $B = 1,1$ Тл, ускоряющий потенциал $\Delta\varphi = 300$ кВ. Определить кратность ионизации атома неона, полное число оборотов иона в процессе ускорения, а также частоту изменения полярности ускоряющего поля.
157. Определите удельный заряд частиц, ускоренных в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,7$ Тл при частоте ускоряющего напряжения $\nu = 25,5$ МГц.
158. Электрон равномерно движется по окружности в однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 10$ мТл. Радиус окружности $R = 2,5$ мм, то чему равна кинетическая энергия W_e электрона?
159. Электрон, имеющий кинетическую энергию $W = 1,5$ МэВ, движется в однородном магнитном поле по окружности. Магнитная индукция поля $B = 0,02$ Тл. Определить период вращения T .
160. Кинетическая энергия α -частицы равна $W = 400$ МэВ. Частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R = 50$ см. Определите магнитную индукцию поля B .
161. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi = 300$ В движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии $a = 4$ мм от него. Какая сила действует на электрон, если по проводнику пропустить ток $I = 5$ А?
162. На горизонтальных рельсах, расстояние между которыми $l = 1524$ мм, лежит стержень, составляющий с рельсами угол $\alpha = 90^\circ$. Определите силу тока I , который надо пропустить по стержню, чтобы он пришел в движение, считая, что рельсы и стержень находятся в вертикальном однородном магнитном поле индукции $B = 140$ мТл. Масса стержня $m = 0,7$ кг, коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,05$.
163. По двум одинаковым плоским прямоугольным контурам со сторонами $a = 30$ см и $b = 40$ см текут токи силы $I_1 = 10$ А и $I_2 = 5$ А. Определите силу F взаимодействия контуров, если плоскости контуров параллельны, а расстояние между соответствующими сторонами контуров составляет $d = 5$ мм.
164. Прямой провод длиной $l = 10$ см, по которому течет ток $I = 20$ А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. Найти угол α между направлениями вектора B и тока I , если на провод действует сила $F = 10$ мН.
165. Двухпроводная линия состоит из длинных параллельных прямых проводов, находящихся на расстоянии $d = 10$ мм друг от друга. По проводам текут одинаковые токи $I = 60$ А. Определить силу взаимодействия токов, приходящуюся на единицу длины провода.
166. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии $d_1 = 14$ см друг от друга. По проводникам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = 10$ А и $I_2 = 30$ А. Какую работу A (на единицу длины проводников), надо совершить чтобы сдвинуть эти проводники до расстояния $d_2 = 4$ см?
167. Два прямолинейных длинных проводника расположенных на расстоянии $l_1 = 40$ см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи $I_1 = 20$ А, $I_2 = 25$ А. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводника) чтобы раздвинуть эти проводники на расстояние $l_2 = 80$ см. Сделать рисунок, показать направление действия сил.

168. Проводник длиной $l = 0,15$ м перпендикулярен вектору магнитной индукции однородного магнитного поля, модуль которого $B = 0,4$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 8$ А. Найдите работу, которая была совершена при перемещении проводника на расстояние $a = 0,025$ м по направлению действия силы Ампера.
169. В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,6$ Тл, равномерно движется проводник длиной $l = 0,2$ м. По проводнику проходит ток силой $I = 4$ А. Проводник со скоростью $v = 0,2$ м/с движется перпендикулярно направлению магнитного поля. Вычислите работу перемещения проводника за время $t = 10$ с движения.
170. Проводник в виде тонкого полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл. По проводнику течет ток $I = 10$ А. Найти силу F , действующую на проводник, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции.
171. По горизонтально расположенному медному проводнику с площадью поперечного сечения $S = 1$ мм² течет ток $I = 1$ А. Найдите минимальную величину B индукции магнитного поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравнивалась силой Ампера.
172. Определите наибольшую F_{max} и наименьшую F_{min} величину силы, действующей на проводник длиной $l = 0,6$ м, по которому течет ток $I = 10$ А, при различных положениях проводника в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл.
173. В горизонтальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл подвешен на двух тонких проволочках горизонтальный проводник, перпендикулярный полю. При пропускании по нему тока $I = 10$ А натяжение каждой проволочки изменилось на $\Delta T = 0,01$ Н. Определите длину проводника.
174. Горизонтальный проводник длиной $l = 20$ см и массой $m = 0,01$ кг, подвешенный на двух тонких нитях, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,25$ Тл. На какой угол от вертикали отклонятся нити? Поддерживающие проводник, если по проводнику пропустить ток $I = 2$ А? Массой нитей пренебречь.
175. Проводник находится в равновесии в горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 48$ мТл. Сила тока в проводнике $I = 23$ А. Угол между направлением тока и вектором магнитной индукции $\alpha = 60^\circ$. Определить длину проводника, если его масса $m = 0,0237$ кг.
176. Проводящий стержень длиной $l = 4$ см согнули посередине под углом $\alpha = 60^\circ$ и внесли в однородное магнитное поле индукции $B = 0,01$ Тл. Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости, в которой лежит изогнутый стержень. Определите величину F силы, действующей со стороны магнитного поля на стержень при пропускании по нему тока $I = 5$ А (рис. 99).
177. Проволочный контур, имеющий форму прямоугольного треугольника (рис. 100), помещен в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости контура. При протекании в контуре тока I на проводник a со стороны магнитного поля действует сила $F_a = 3$ мН, на проводник b — сила $F_b = 4$ мН. Определите величину F_c , которая действует со стороны магнитного поля на проводник c . На рисунке укажите векторы сил.
178. Между полюсами магнита вдоль оси ОХ, перпендикулярно плоскости рисунка, висит, не падая, проводник. Считать поле магнита однородным. Сечение проводника заштриховано (рис. 101). Найдите, как направлен ток в проводнике. Определите силу тока в проводнике, если индукция магнитного поля магнита $B = 1$ Тл, масса единицы длины проводника $m/l = 1,3 \cdot 10^{-2}$ кг/м.

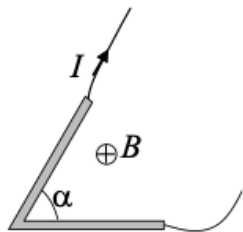


Рисунок 99

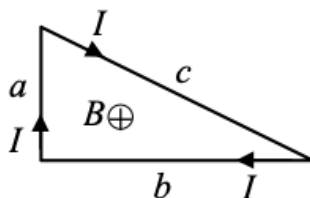


Рисунок 100

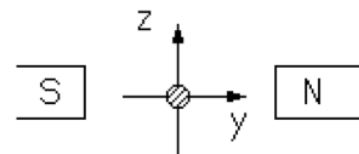


Рисунок 101

179. Три длинных параллельных провода с токами $I_1 = I_2 = I_3 = 5$ А расположены так, как показано на рис. 102. Направления токов I_1 и I_3 указаны, расстояния между проводниками 1 и 2, 2 и 3 одинаковы и равны $d = 20$ см. \vec{F} — направление результирующей сил Ампера, действующих на проводник с током I_2 со стороны 1 и 3 проводников с токами. Найдите направление тока во втором проводнике. Определите величину силы F , действующую на единицу длины второго проводника.
180. Три длинных параллельных провода с токами $I_1 = I_2 = I_3 = 5$ А расположены так, как показано на рис. 103. Направления токов указаны, расстояния между проводниками 1 и 2, 2 и 3 одинаковы и равны $a = 20$ см. Найдите направление результирующей сил Ампера, действующих на проводник с током I_2 , со стороны 1 и 3 проводников с токами, и покажите ее на рисунке. Определите величину силы F , действующую на единицу длины второго проводника.
181. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно друг другу на расстоянии $d = 10$ см (рис. 104). По проводникам в одном направлении текут токи $I_1 = I_2 = 10$ А. В точке M , находящейся на расстоянии $a = 10$ см от каждого проводника, находится третий проводник с током $I_3 = 10$ А, который направлен противоположно двум первым. Найдите модуль силы Ампера, с которой поле, создаваемое двумя первыми проводниками с током, действует на единицу длины третьего проводника.

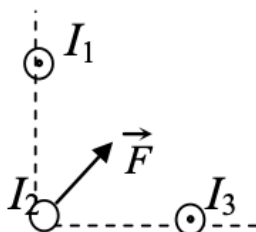


Рисунок 102

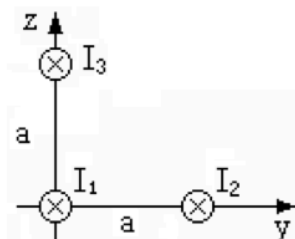


Рисунок 103

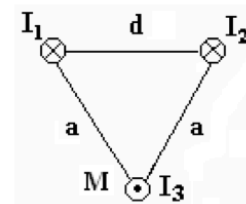


Рисунок 104

182. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 5$ Тл расположен проволочный виток так, что плоскость перпендикулярна магнитному полю. Площадь, охватываемая контуром витка, равна $S = 50$ см². Виток замкнут на гальванометр. При повороте витка на угол $\alpha = 60^\circ$ через гальванометр проходит заряд, равный $q = 4 \cdot 10^{-3}$ Кл. Найдите сопротивление витка.
183. Скорость летящего горизонтально самолета $v = 950$ км/ч. Определите разность потенциалов $\Delta\varphi$, возникающую между концами крыльев этого самолета, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна $B = 0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл, а размах крыльев самолета $l = 20$ м.
184. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2 \cdot 10^{-4}$ Тл равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стержень длиной $l = 120$ см. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определите

- число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов $\Delta\varphi = 0,2$ В.
185. Какой вращающий момент испытывает рамка с током $I = 10$ А при помещении ее в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 0,5$ Тл, если рамка содержит $N = 20$ площадью $S = 50$ см², а ее нормаль образует с вектором индукции магнитного поля угол $\alpha = 60^\circ$?
186. Квадратная рамка с током $I_1 = 2$ А расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником, по которому течет ток $I_2 = 10$ А. Сторона рамки $a = 10$ см. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии, которое в два раза больше стороны рамки. Найти механическую работу, которую нужно совершить для поворота рамки вокруг оси на угол $\alpha = 180^\circ$, если токи поддерживают неизменными.
187. Катушка длиной $l = 70$ см и диаметром $d = 2$ см содержит $N = 600$. По катушке течет ток $I = 5$ А. Определите: индуктивность катушки и магнитный поток, пронизывающий площадь ее поперечного сечения.
188. За время $t = 2$ мс в соленоиде, содержащем $N = 500$ витков, магнитный поток изменился с $\Phi_1 = 15$ мВб до $\Phi_2 = 5$ мВб. Определить ЭДС индукции ε_i в соленоиде.
189. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5$ Тл находится виток площади $S = 100$ см², расположенный перпендикулярно линиям индукции. Сопротивление витка $R = 10$ Ом. Какой заряд q пройдет по витку при выключении поля?
190. Энергия магнитного поля в катушке уменьшилась за счет изменения тока в ней в $n = 2$ раза в течение времени $t = 0,1$ с. Индуктивность катушки $L = 0,24$ Гн, первоначальный ток в катушке $I_0 = 10$ А. Определите ЭДС самоиндукции ε_s в катушке, считая, что сила тока зависит от времени линейно.
191. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,3$ Тл равномерно с частотой $\nu = 360$ мин⁻¹ вращается рамка, содержащая $N = 1000$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 50$ см², ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке.
192. При изменении тока от $I_1 = 5$ А до $I_2 = 10$ А в соленоиде, содержащем $N = 500$, его магнитный поток увеличился на $\Delta\Phi = 5$ мВб. Чему равна средняя ЭДС самоиндукции ε_s , возникающая в соленоиде, если изменение тока произошло за время $t = 0,05$ с.
193. Рамка площадью $S = 100$ см², из проволоки сопротивлением $R = 4$ Ом вращается с угловой скоростью $\omega = 10\pi$ рад/с в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,3$ Тл. Ось вращения рамки лежит в ее плоскости и перпендикулярна к вектору магнитной индукции. Определить количество теплоты, которое выделяется в рамке за $N = 600$ оборотов. Самоиндукцией пренебречь.
194. Квадратная рамка с длиной стороны $a = 50$ мм, изготовленная из тонкой проволоки, расположена в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. Если в течении промежутка времени $\Delta t = 50$ мс модуль индукции магнитного поля равномерно уменьшился от $B_1 = 700$ мТл до $B_2 = 300$ мТл, то чему равна ЭДС индукции ε_i в рамке?
195. Сила тока в катушке, индуктивность которой $L = 0,05$ Гн, равномерно уменьшилась от значения $I_1 = 3,5$ А до значения I_2 за промежуток времени $\Delta t = 50$ мс. Если при этом в катушке возникла ЭДС самоиндукции $\varepsilon_s = 2,5$ В, то чему равно конечное значение силы тока I_2 в катушке?
196. Сила тока I , протекающего по катушке с сердечником, индуктивность которой $L = 10$ Гн, составляет $I = 5$ А. Если при разрыве цепи сила тока равномерно спадает до нуля за время $\Delta t = 0,05$ с, то какое ЭДС самоиндукции ε_s возникает в катушке?

197. В проволочном кольце сделан узкий разрез, в который включен конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Кольцо помещено в однородное магнитное поле, магнитная индукция которого перпендикулярна плоскости кольца. Модуль скорости изменения магнитной индукции $\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 50 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$. Если заряд конденсатора $q = 2,9$ мкКл, то чему равен радиус R кольца?
198. Виток проводника площадью $S = 50$ см² разрезан в некоторой точке и в разрез включен конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ. Виток помещен в магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен плоскости витка. Модуль скорости изменения вектора магнитной индукции $\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 10 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$. Чему равен заряд на конденсаторе?
199. Однотонная катушка диаметром $d = 20$ мм содержит витки в количестве $N = 500$. К концам катушки подключен конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ. Если катушку поместить в однородное магнитное поле, параллельное ее оси, индукция которого изменяется со скоростью $\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 5 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$, то энергия электрического поля конденсатора будет равна...
200. Сила тока в катушке индуктивности изменяется с течением времени по закону $I = C + Bt$, где $C = 1$ А, $B = -0,4$ А/с. Если в катушке возникает ЭДС самоиндукции $\varepsilon_s = 28$ мВ, то чему равна ее индуктивность?
- По катушке без сердечника с индуктивностью $L = 5 \cdot 10^4$ Гн течет постоянный ток $I = 5$ А. Какое количество электричества Δq индуцируется в катушке при выключении тока, если длина катушки $l = 100$ см, а диаметр медного провода обмотки катушки $d = 0,6$ мм?
 - Источник тока замкнут на катушку сопротивлением $R = 10$ Ом и индуктивностью $L = 0,2$ Гн. Через какое время сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?
 - Источник тока замкнут на катушку сопротивлением $R = 20$ Ом. За время $\Delta t = 0,1$ с сила тока замыкания достигла 0,95 максимального значения. Определите индуктивность катушки.
 - Соленоид с индуктивностью $L = 4 \cdot 10^{-2}$ Гн сопротивление которого $R = 20$ Ом, находится в переменном магнитном поле. Если магнитный поток этого поля увеличивать на $\Delta \Phi = 2$ мВб, то сила тока в соленоиде возрастет на $\Delta I = 0,02$ А. Какой заряд пройдет по виткам соленоида за это время?
201. В идеальном колебательном LC-контуре, состоящем из катушки индуктивности и конденсатора, зависимость заряда от времени имеет вид $q = q_0 \sin At$, где $A = 2 \cdot 10^3$ рад/с. Если индуктивность катушки $L = 5$ мГн, то чему равна ёмкость конденсатора?
202. Определите период T колебаний контура, в состав которого входят катушка (без сердечника) длины $l = 50$ см и площади сечения $S_1 = 2$ см², имеющая $N = 1000$ витков, и воздушный конденсатор, состоящий из двух пластин площади $S_2 = 25$ см² каждая. Расстояние между пластинами конденсатора равно $d = 5$ мм. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.
203. Четыре одинаково заряженных конденсатора емкостью $C = 25$ мкФ каждый соединяют в батарею и подключают к катушке, активное сопротивление которой $R = 10$ Ом и индуктивность $L = 0,05$ Гн. Во сколько раз будут отличаться периоды затухающих колебаний, если конденсаторы один раз соединены параллельно, а второй — последовательно?
204. Ток в колебательном контуре зависит от времени по закону $I = I_0 \sin \omega_0 t$, где $I_0 = 16$ мА, $\omega_0 = 4 \cdot 10^4$ с⁻¹. Емкость конденсатора $C = 2,5$ мкФ. Определите индуктив-

- ность L контура и напряжение U на конденсаторе в момент времени $t = 0$. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.
205. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L = 1,6$ мГн и конденсатора емкость которого $C = 0,04$ мкФ. Максимальное напряжение на обкладках конденсатора $U_{max} = 200$ В. Определите максимальную силу тока I_{max} в контуре. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.
206. Последовательно соединенные резистор с сопротивлением $R = 110$ Ом и конденсатор подключены к внешнему переменному напряжению с амплитудным значением $U_m = 110$ В. Оказалось, что амплитудное значение установившегося тока в цепи $I_m = 0,5$ А. Определите разность фаз между током и внешним напряжением.
207. Уравнение изменения величины тока в колебательном контуре со временем дается в виде $I = 0,5 \sin(100\pi t)$ А. Индуктивность контура $L = 0,5$ Гн. Найти период колебаний, емкость контура, максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора, максимальную энергию электрического поля.
208. Конденсатор емкостью $C = 4,6$ нФ соединен с катушкой индуктивности $L = 25$ мкГн с сопротивлением $R = 5$ Ом. Определите резонансную частоту контура.
209. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L = 0,4$ Гн и конденсатора емкостью $C = 0,5$ мкФ. Конденсатор зарядили до напряжения $U_0 = 4$ В. Какими будут ток, напряжение и заряд в моменты времени, когда отношения энергии электрического и магнитного поля равны $0, \frac{1}{2}$?
210. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 3$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 0,2$ Гн и сопротивлением $R = 12$ Ом. Определить логарифмический декремент затухания колебаний.
211. Определить активное сопротивление колебательного контура, индуктивность которого $L = 1$ Гн, если через $t = 0,1$ с амплитудное значение разности потенциалов на обкладках конденсатора уменьшилось в 4 раза.
212. Заряд на обкладках конденсатора входного контура приемника изменяется по закону $q = 2 \cdot 10^{-6} \sin 6,25 \cdot 10^6 t$. Емкость входного контура приемника $C = 50$ пФ. Чему равна индуктивность входного контура приемника?
213. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 888$ нФ и катушки с индуктивностью $L = 2$ мГн. На какую длину λ настроен контур?
214. Колебательный контур радиоприемника содержит катушку индуктивности $L = 10$ мГн и два параллельно соединенных конденсатора емкостями $C_1 = 36$ нФ и $C_2 = 4$ нФ. На какую длину волны настроен контур?
215. По международному соглашению длина радиоволны для экстренной связи $\lambda = 0,6$ км. Поэтому корабли передают сигнал бедствия SOS на частоте равной...?
216. Уравнение изменения со временем тока в колебательном контуре имеет вид $I = 0,05 \sin 400\pi t$ А. Индуктивность контура $L = 1$ Гн. Найти период колебания T , емкость C контура, максимальную энергию W_M магнитного поля и максимальную энергию $W_{ЭД}$ электрического поля.
217. Найти отношение энергии $W_M/W_{ЭД}$ магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени $\frac{T}{8}$.
218. Найти отношение энергии $W_M/W_{ЭД}$ магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени $\frac{3T}{8}$.
219. Найти отношение энергии $W_M/W_{ЭД}$ магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени $\frac{5T}{8}$.

220. Найти отношение энергии $W_M/W_{ЭД}$ магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени $\frac{7T}{8}$.
221. Абсолютный показатель преломления хлороформа $n = 1,45$. Если длина световой волны в хлороформе $\lambda = 400$ нм, то чему равна частота этой волны?
222. Абсолютный показатель преломления света в алмазе $n_1 = 2,42$, в стекле — $n_2 = 1,5$. Каково должно быть отношение толщины стекла к толщине алмаза, чтобы время распространения света в них было одинаковым?
223. При падении света на поверхность скипидара из вакуума угол падения равен $\alpha = 45^\circ$, а угол преломления $\beta = 30^\circ$. Найти скорость распространения света в скипидаре.
224. Свет идет по кратчайшему пути из одной среды в другую. Каков показатель преломления второй среды относительно первой, если толщины слоев равны соответственно $h_1 = 0,84$ м и $h_2 = 0,5$ м, а время прохождения светом первого слоя в 1,2 раза больше времени прохождения второго слоя?
225. Два взаимно перпендикулярных луча падают на поверхность воды. Угол падения одного из лучей $\alpha = 30^\circ$. Каким станет угол между лучами в воде?
226. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину толщины $d = 6$ см. Угол падения $\alpha = 60^\circ$. Найти смещение луча, прошедшего через эту пластинку.
227. Пучок параллельных лучей падает на поверхность воды под углом $\alpha = 60^\circ$. Ширина пучка в воздухе $l = 0,15$ м. Определите ширину пучка в воде.
228. Найти предельный угол полного внутреннего отражения кедрового масла на границе с воздухом, если свет в кедровом масле распространяется со скоростью $\vartheta = 2 \cdot 10^8$ м/с.
229. Показатели преломления некоторого сорта стекла для красного и фиолетового лучей равны соответственно $n_1 = 1,51$ и $n_2 = 1,53$. Найти предельные углы полного внутреннего отражения при падении этих лучей на границу стекло-воздух. Что произойдет при падении белого луча под углом $\alpha = 41^\circ$ на поверхность раздела стекло-воздух?
230. Определите, на какой угол отклоняется световой луч от своего первоначального направления при переходе из воздуха в воде, если угол падения $\alpha = 76^\circ$.
231. Стеклянная призма имеет равные углы при основании. Чему равен угол α при вершине призмы, если известно, что произвольный луч, падающий на ее основание в плоскости чертежа, после двукратного отражения от граней А и Б призмы выходит параллельно первоначальному направлению (рис. 105).
232. Какова истинная глубина реки $n = 1,33$, если при определении на глаз по вертикальному направлению глубина ее кажется равной $h = 1,2$ м.
233. Наблюдатель смотрит по вертикали вниз на предмет, накрытый стеклянной пластинкой $n_1 = 1,5$, поверх которойлита вода $n_2 = 1,33$. Толщина пластинки $h_1 = 5$ см, слоя воды — $h_2 = 10$ см. На каком расстоянии от поверхности воды он увидит изображение предмета?
234. На дне водоема глубиной $h = 2$ м находится источник света. На поверхности воды плавает круглый диск так, что его центр находится над источником. При каком минимальном диаметре диска лучи от источника не будут выходить из воды? Показатель преломления воды $n = 1,33$.
235. Непрозрачный шар радиусом $R = 20$ см плавает, наполовину погрузившись в воду (абсолютный показатель преломления воды $n = 1,33$). На вертикали, проходящей через центр шара, находится точечный источник света S (см. рис. 106). Если ни один световой луч, исходящий от источника,

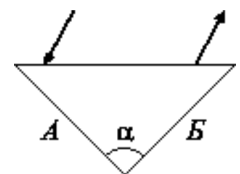


Рисунок 105

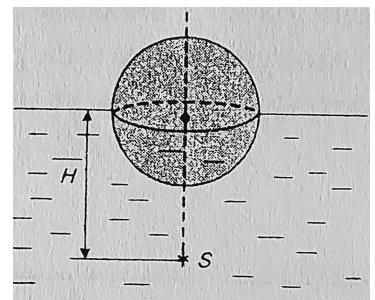


Рисунок 106

- не выходит из воды, то чему равно максимальное расстояние H между источником и центром шара?
236. Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\varphi = 10^0$. Пользуясь зеркалом, пускают «зайчик» в водоем. Под каким углом β к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\alpha = 41^0$ к вертикали. Показатель преломления воды $n = 1,33$. Нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости.
237. Расстояние в воздухе от лампы до поверхности воды $h_1 = 2,2$ м. На глубине $h_2 = 0,6$ м в воде под лампой находится наблюдатель. На каком расстоянии от себя он будет видеть эту лампу?
238. Горизонтальный луч света падает на зеркальную дверь и отражается от нее. Дверь поворачивают вокруг вертикальной оси на угол φ . Если при этом угол между падающим и отраженными лучами увеличится на $\Delta\alpha = 30^0$, то чему равен угол поворота φ ?
239. Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек мог в нем видеть свое изображение во весь рост, не меняя положения головы?
240. Сколько изображений получится от светящейся точки, находящейся между двумя плоскими зеркалами, расположенными под углом $\alpha = 90^0$ друг от друга? Построить эти изображения.
241. Две когерентные волны длиной λ от одного и того же точечного источника пришли по различным путям в точку наблюдения. Если разность хода этих волн $\Delta d = \frac{3}{4}\lambda$, то чему равна разность их фаз в точке наблюдения?
242. Две когерентные волны длиной λ от одного и того же точечного источника пришли по различным путям в точку наблюдения. Если разность фаз этих волн в точке наблюдения $\Delta\varphi = \frac{3}{2}\pi$ рад, то чему равна разность их хода Δd ?
243. Если оптическая разность хода двух когерентных монохроматических волн в веществе ($n = 1,5$) равна $\delta = 40$ мм, то чему равна их разность хода Δd ?
244. В опыте Юнга расстояние между щелями $d = 0,8$ мм, а расстояние от щелей до экрана равно $l = 4$ м. Определите положение первой световой полосы, положение третьей темной полосы, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 650$ нм.
245. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно $d = 0,5$ мм, расстояние от них до экрана $l = 5$ м. В желтом свете ширина интерференционной полосы равна $\Delta x = 6$ мм. Определите длину волны желтого света.
246. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку ($n = 1,5$), то центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны $\lambda = 500$ нм. Определите толщину пластинки.
247. В опыте Юнга синий светофильтр ($\lambda_1 = 400$ нм), обеспечивающий монохроматичность интерферирующих волн, заменили красным ($\lambda_2 = 650$ нм). Оцените, как и во сколько раз изменится при этом ширина интерференционной полосы.
248. Какой должна быть наименьшая толщина валенки, чтобы в отраженном свете наблюдался преимущественно свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм, если угол падения параллельных лучей белого света на тонкую пленку с показателем преломления $n = 1,33$ равен $\alpha = 52^0$.
249. На поверхность стеклянного объектива ($n_1 = 1,5$) нанесена тонкая пленка, показатель преломления которой $n_2 = 1,2$ («просветляющая» пленка). При какой наименьшей толщине этой пленки произойдет максимальное ослабление отраженного света с длиной волны $\lambda = 555$ нм?

250. На стеклянную пластину ($n_1 = 1,5$) нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n_2 = 1,3$. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны $\lambda = 620$ нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d_{min} должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?
251. На тонкую глицериновую пленку толщиной $d = 1,2$ мкм нормально к ее поверхности падает белый свет. Определить длины волн λ лучей видимого участка спектра ($380 \text{ нм} \leq \lambda \leq 740 \text{ нм}$), которые будут ослаблены в результате интерференции.
252. Пучок белого света падает по нормали к поверхности стеклянной пластинки толщиной $d = 0,5$ мкм. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Какие длины волн λ , лежащие в пределах видимого спектра ($380 \text{ нм} \leq \lambda \leq 740 \text{ нм}$), усиливаются в отраженном свете?
253. На мыльную пленку ($n = 1,33$) падает белый свет под углом $\alpha = 45^\circ$. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 570$ нм)?
254. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 510$ нм. Найти радиус R линзы, если радиус четвертого, темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_4 = 2$ мм.
255. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d_{min} пленки, если показатель преломления материала пленки $n = 1,45$.
256. Между пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 600$ нм равен $r_3 = 0,82$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 0,5$ м.
257. На мыльную пленку ($n = 1,3$), находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине отраженный свет с длиной волны $\lambda = 620$ нм окажется максимально усиленным в результате интерференции?
258. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 500$ нм). Радиус кривизны линзы равен $R = 0,05$ м. Определить толщину d_3 воздушного промежутка в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.
259. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и стеклянной пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,21 раза. Определите показатель преломления жидкости.
260. Плосковыпуклая стеклянная линза с оптической силой в одну диоптрию лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в проходящем свете $r_5 = 1,1$ мм. Определить длину световой волны λ .
261. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Его направление на четвертую темную дифракционную полосу составляет $\varphi_1 = 2^\circ 12'$. Определите, сколько длин волн укладывается на ширине щели.
262. На узкую щель шириной $a = 0,075$ мм падает нормально монохроматический свет. Длиной волны $\lambda = 690$ нм. Определите направление света на вторую дифракционную полосу.
263. На щель шириной $a = 0,1$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Экран, на котором наблюдается дифракционная картина, расположен параллельно щели на расстоянии $l = 1$ м. Определите расстояние b между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от центрального максимума.

264. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок монохроматического света длиной волны $\lambda = 0,65$ мкм. Если угол отклонения излучения в спектре пятого порядка $\varphi = 45^\circ$, то каков период d дифракционной решетки?
265. На дифракционную решетку, каждый миллиметр которой содержит $N = 400$ штрихов, падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Если максимум пятого порядка отклонен от перпендикуляра к решетке на угол $\varphi = 30^\circ$, то чему равна длина световой волны λ ?
266. При нормальном падении монохроматического света на дифракционную решетку дифракционный максимум четвертого порядка наблюдается под углом $\varphi = 30^\circ$ к нормали. Если длина световой волны $\lambda = 450$ нм, то чему равен период дифракционной решетки?
267. Дифракционная решетка, на каждый миллиметр которой приходится $N = 500$ штрихов, освещается нормально падающим на нее светом с длиной волны $\lambda = 400$ нм. Каков наибольший порядок дифракционного максимума который можно наблюдать с помощью этой решетки?
268. На дифракционную решетку, содержащую $N = 400$ штрихов на каждый миллиметр, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 450$ нм. Найти общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол φ дифракции, соответствующий последнему максимуму.
269. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается длина волны $\lambda = 780$ нм спектра третьего порядка?
270. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки, чтобы в направлении $\varphi = 41^\circ$ совпадали максимумы двух линий: $\lambda_1 = 653,3$ нм и $\lambda_2 = 410,2$ нм?
271. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Красная линия ($\lambda = 645$ нм) видна в спектре третьего порядка под углом $\varphi = 60^\circ$. 1) Какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре четвертого порядка? 2) Какое число штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка?
272. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ нм). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 20^\circ$. Определить ширину a щели.
273. На дифракционную решетку, содержащую $N = 100$ на 1 мм, нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 16^\circ$. Определить длину волны λ света, падающего на решетку.
274. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4$ раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.
275. Расстояние между штрихами дифракционной решетки $d = 4$ мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 580$ нм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?
276. На пластину с щелью, ширина которой $a = 0,05$ мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 700$ нм. Определить угол φ отклонения лучей, соответствующий первому дифракционному максимуму.
277. Дифракционная решетка, освещенная нормально падающим монохроматическим светом, отклоняет спектр третьего порядка на угол $\varphi_1 = 30^\circ$. На какой угол φ_2 отклоняет она спектр четвертого порядка?

278. Определите разрешающую способность дифракционной решетки, период которой равен $d = 1,5$ мкм, а общая длина $l = 12$ мм, если на нее падает свет с длиной волны $\lambda = 530$ нм.
279. Какова ширина всего спектра первого порядка (длины волн заключены в пределах $380 \text{ нм} \leq \lambda \leq 760 \text{ нм}$), полученного на экране, отстоящем на расстояние $l = 3$ м от дифракционной решетки с периодом $d = 0,01$ мм.
280. Определите разрешающую способность дифракционной решетки, содержащей $N = 250$ штрихов на каждый миллиметр, если ее общая длина равна $l = 10$ мм. На решетку падает излучение с длиной волны $\lambda = 720$ нм.
281. Параллельный пучок света переходит из глицерина в стекло так, что пучок, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным пучками.
282. Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 45^\circ$. Принимая, что потери интенсивности света на отражение и поглощение в каждом никеле составляют 15%, найти во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николь.
283. Угол падения луча на поверхность стекла равен $\alpha = 60^\circ$. При этом отраженный пучок света оказывается максимально поляризованным. Определить угол β преломления луча.
284. Под каким углом надо направить луч света на поверхность бензола ($n_1 = 1,5$), налитого поверх слоя воды ($n_2 = 1,33$) в стеклянный сосуд ($n_3 = 1,6$), чтобы после отражения от стеклянного дна он стал полностью поляризованным?
285. Угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен $i = 50^\circ$. Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляризаторах.
286. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный пучок света максимально поляризован?
287. Пучок света переходит из жидкости в стекло. Угол падения пучка равен $\alpha_1 = 60^\circ$, угол преломления $\beta = 50^\circ$. При каком угле падения α_2 пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован?
288. Угол преломления луча в жидкости $\beta = 35^\circ$. Определить показатель преломления n жидкости, если известно, что отраженный пучок света максимально поляризован.
289. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен α . Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8% падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9% интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол α .
290. Угол Брюстера i_B при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.
291. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный ($n = 1,5$) сосуд, и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при попадании его на дно сосуда под углом $42^\circ 37'$. Найти показатель преломления жидкости.
292. На какой угловой высоте φ над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет отраженный от поверхности воды ($n = 1,33$), был полностью поляризован?
293. Пучок естественного света падает на систему из пяти николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол $\varphi = 30^\circ$ относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Какая часть светового потока проходит через эту систему?
294. Степень поляризации частично поляризованного света $P = 0,7$. Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.

295. Определите степень поляризации P света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.
296. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора $\varphi_1 = 45^\circ$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, вышедшего из анализатора, если угол увеличить до $\varphi_2 = 60^\circ$?
297. При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит 30% светового потока, а через два таких поляризатора 13,5%. Найдите угол φ между плоскостями пропускания этих поляризаторов.
298. Определите степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 2 раза больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.
299. Прозрачный поликарбонат пропускает 93 % падающего на него света. Какова будет степень поляризации света, прошедшего в поликарбонат ($n = 1,59$), если он падает на его поверхность под углом Брюстера?
300. На пути частично поляризованного пучка поместили николю. При повороте николя на угол $\varphi = 60^\circ$ из положения, соответствующего максимуму пропускания света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в три раза. Найти степень поляризации света.
301. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 600$ нм. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?
302. Определить температуру T и энергетическую светимость R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 640$ нм.
303. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi_e = 5$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².
304. Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 5$ кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 720$ нм. Определить площадь S излучающей поверхности.
305. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра $\lambda_{m1} = 760$ нм на фиолетовую $\lambda_{m2} = 390$ нм?
306. Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 100$ см². Определить долю ω мощности, рассеиваемой стенки печи, если температура ее внутренней поверхности равна $T = 900$ К.
307. Средняя энергетическая светимость поверхности Земли $R_e = 0,54 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$. Какова температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты $a_{\lambda,T} = 0,3$?
308. Вычислить энергию, излучаемую за время $t = 1$ мин с площади $S = 1$ см² абсолютно черного тела, температура которого $T = 1100$ К.
309. В каких областях спектра лежат длины волн, соответствующие максимуму спектральной плотности энергетической светимости, если источником света служит: 1) спираль электрической лампочки ($T_1 = 3000$ К); 2) поверхность Солнца ($T_2 = 6000$ К); 3) атомная бомба, в которой в момент взрыва развивается температура около 10 млн. градусов. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.
310. Мощность излучения абсолютно черного тела $P = 50$ кВт. Найти температуру этого тела, если известно, что поверхность его равна $S = 0,5$ м².
311. Какую мощность излучения имеет Солнце? Его излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела. Температура поверхности Солнца $T = 5780$ К.

312. Какую энергетическую светимость имеет абсолютно черное тело, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda_m = 484 \text{ нм}$?
313. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 3100 \text{ К}$. В результате остывания тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 12 \text{ мкм}$. До какой температуры охладилось тело?
314. Зачерненный шарик остывает от температуры $T_1 = 310 \text{ К}$ до $T_2 = 290 \text{ К}$. На сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?
315. Зачерненный шарик нагревается от температуры $T_1 = 450 \text{ К}$ до $T_2 = 500 \text{ К}$. На сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?
316. При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости изменилось с $\lambda_1 = 710 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 640 \text{ нм}$. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?
317. Найдите температуру, при которой плотность потока собственного излучения абсолютно черного тела равна $I = 1 \text{ кВт/м}^2$.
318. Тело при температуре $T = 1150 \text{ К}$ излучает с поверхности площадью $S = 1 \text{ см}^2$ в секунду энергию $W = 11 \text{ Дж}$. Определите поглощательную способность тела.
319. Твердое тело при температуре $T = 900 \text{ К}$ излучает с поверхности площадью $S = 1 \text{ см}^2$ в секунду энергию $W = 3 \text{ Дж}$. Определите отражательную способность тела.
320. На сколько уменьшится масса Солнца за год вследствие излучения? За какое время масса Солнца уменьшится вдвое? Температура его поверхности $T = 5780 \text{ К}$. Его излучение считать постоянным.
321. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310 \text{ нм}$. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda_0 = 250 \text{ нм}$.
322. Длина волны красной границы фотоэффекта для цинка составляет $\lambda_0 = 310 \text{ нм}$. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов – $W = 1 \text{ эВ}$. Найти отношение работы выхода электрона к энергии падающего фотона.
323. Частота света красной границы фотоэффекта для некоторого металла составляет $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$, задерживающая разность потенциалов для фотоэлектронов – $U_3 = 2 \text{ В}$. Определить частоту падающего света и работу выхода электронов.
324. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны $\lambda_0 = 200 \text{ нм}$. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_3 , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.
325. Какова должна быть длина волны γ -излучения, падающего на платиновую пластину, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была $v_{max} = 3 \text{ Мм/с}$?
326. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения $\lambda = 250 \text{ нм}$. Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U_3 = 0,96 \text{ В}$. Определить работу выхода $A_{вых}$ электронов из металла.
327. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 120 \text{ нм}$. Красная граница фотоэффекта $\lambda_k = 300 \text{ нм}$. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?
328. При облучении металлической пластинки квантами света с энергией $W = 3 \text{ эВ}$ из нее выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов $\Delta U = 5 \text{ В}$. Какова работа выхода $A_{вых}$, если максимальная энергия ускоренных электронов равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

329. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 290$ нм. При облучении катода светом фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1,5$ В. Определите длину волны падающего света λ .
330. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно $\lambda_1 = 350$ нм и $\lambda_2 = 540$ нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в два раза. Какова работа выхода с поверхности металла?
331. Определите постоянную Планка, если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности некоторого металла при действии на него излучения частотой $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$ Гц полностью задерживаются напряжением $U_1 = 6,6$ В, а при действии излучения частотой $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$ Гц – напряжением $U_2 = 16,5$ В.
332. При облучении фотокатода, покрытого стронцием, излучением с длиной волны $\lambda = 550$ нм, запирающее напряжение оказалось равным нулю. При освещении какими лучами с поверхности стронция будут вылетать электроны с максимальной кинетической энергией $W = 1,6$ эВ?
333. Наибольшая длина волны света, при которой происходит фотоэффект для вольфрама, равна $\lambda_1 = 275$ нм. Найдите работу выхода электронов из вольфрама и наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны $\lambda_2 = 180$ нм.
334. Как изменится максимальная кинетическая энергия выбиваемых фотоэлектронов, если частоту света, падающего на металл, увеличить в 2 раза?
335. Пластинку освещают рентгеновским излучением с длиной волны $\lambda_1 = 20$ нм. Красная граница для металла пластинки $\lambda_2 = 200$ нм. Вне пластинки приложено задерживающее однородное электрическое поле напряженностью $E = 500$ В/м. Определите максимальную длину пробега фотоэлектронов в этом поле.
336. В опыте Столетова цинковая пластинка, заряженная отрицательно, облучалась светом вольтовой дуги. До какого минимального потенциала зарядится цинковая пластинка, если она будет облучаться монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 324$ нм? Работа выхода из цинка равна $A_{\text{ВЫХ}} = 3,74$ эВ.
337. Работа выхода электронов из ртути равна $A_{\text{ВЫХ}} = 4,53$ эВ. Возникнет ли фотоэффект, если на поверхность ртути направить видимый свет?
338. На цинковую пластину падает пучок ультрафиолетового излучения ($\lambda = 280$ нм). Определить максимальную кинетическую энергию и максимальную скорость ϑ_{max} фотоэлектронов.
339. Поток фотонов выбивает из металла с работой выхода $A_{\text{ВЫХ}} = 5$ эВ фотоэлектроны. Энергия фотонов в 1,5 раза больше максимальной кинетической энергии фотоэлектронов. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
340. Металлическую пластину освещают светом с энергией фотонов $W = 4,2$ эВ. Работа выхода для металла пластины равна $A_{\text{ВЫХ}} = 2,5$ эВ. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

РАЗДЕЛ 3. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Методические указания по выполнению контрольной работы

По курсу физики студент должен выполнить контрольные работы, количество которых определено учебным планом специальности. При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, следует определить по таблице вариантов.
2. На титульном листе необходимо указать номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес.
3. Контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента.
4. Задачу своего варианта переписывать полностью, а заданные физические величины выписывать отдельно; при этом все численные величины должны быть представлены в одной системе единиц (СИ).
5. Для пояснения решения задачи, где это нужно, сделать чертеж.
6. Решение задач и выбор используемых при этом формул следует сопровождать пояснениями.
7. В пояснениях к задаче необходимо указывать основные законы и формулы, на использовании которых базируется решение данной задачи.
8. При получении расчетной формулы, которая нужна для решения конкретной задачи, приводить ее вывод.
9. Решение задачи рекомендуется сначала сделать в общем виде (в буквенных обозначениях), давая при этом необходимые пояснения.
10. Вычисления следует проводить путем подстановки заданных числовых значений в расчетную формулу.
11. Проверить единицы полученных величин по расчетной формуле, тем самым подтвердив ее правильность.
12. В контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.
13. Результаты расчета следует округлять.

Правила округления следующие:

- при сложении и вычитании все слагаемые округляют так, чтобы они не имели значащих цифр в тех разрядах, которые отсутствуют хотя бы в одном из слагаемых;
- при умножении и делении исходные данные и результат округляют до такого числа значащих цифр, сколько их содержится в наименее точном числе;
- при возведении в степень в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их содержится в числе, возводимом в степень;
- при извлечении корня в окончательном результате количество значащих цифр должно быть таким, как в подкоренном выражении;
- в промежуточных вычислениях следует сохранять на одну цифру больше, чем рекомендуют правила, приведенные выше.

Значащими цифрами называют все цифры, кроме нуля, и ноль, если он стоит в середине числа или является представителем сохраненного десятичного разряда.

Контрольные работы, представленные без соблюдения указанных правил, а также работы, не относящиеся к требуемому варианту, засчитываться не будут.

При отсылке работы на повторное рецензирование обязательно представлять работу с первой рецензией.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Таблица 1 — Распределение задач по вариантам контрольной работы (количество решаемых столбиков и их номера преподаватель указывает на установочном занятии)

<i>Варианты</i>	<i>Номера задач</i>																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	21	41	61	81	101	121	141	161	181	201	221	241	261	281	301	321
2	2	22	42	62	82	102	122	142	162	182	202	222	242	262	282	302	322
3	3	23	43	63	83	103	123	143	163	183	203	223	243	263	283	303	323
4	4	24	44	64	84	104	124	144	164	184	204	224	244	264	284	304	324
5	5	25	45	65	85	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325
6	6	26	46	66	86	106	126	146	166	186	206	226	246	266	286	306	326
7	7	27	47	67	87	107	127	147	167	187	207	227	247	267	287	307	327
8	8	28	48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328
9	9	29	49	69	89	109	129	149	169	189	209	229	249	269	289	309	329
10	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330
11	11	31	51	71	91	111	131	151	171	191	211	231	251	271	291	311	331
12	12	32	52	72	92	112	132	152	172	192	212	232	252	272	292	312	332
13	13	33	53	73	93	113	133	153	173	193	213	233	253	273	293	313	333
14	14	34	54	74	94	114	134	154	174	194	214	234	254	274	294	314	334
15	15	35	55	75	95	115	135	155	175	195	215	235	255	275	295	315	335
16	16	36	56	76	96	116	136	156	176	196	216	236	256	276	296	316	336
17	17	37	57	77	97	117	137	157	177	197	217	237	257	277	297	317	337
18	18	38	58	78	98	118	138	158	178	198	218	238	258	278	298	318	338
19	19	39	59	79	99	119	139	159	179	199	219	239	259	279	299	319	339
20	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340

Образец оформления титульного листа

Белорусский национальный технический университет
Международный институт дистанционного образования
Кафедра «Информационные системы и технологии»

Контрольная работа по дисциплине «Физика»

за _____ семестр

Вариант _____

Выполнил:

студент _ курса, группы _____

ФИО _____

Проверил:

ФИО преподавателя _____

Минск 20 _____

Вопросы к экзамену

1. Электрический заряд и его свойства. Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции полей.
2. Теорема Гаусса для электростатического поля в интегральной и локальной (дифференциальной) формах.
3. Циркуляция и ротор векторного поля. Теорема о циркуляции электростатического поля и его ротор.
4. Потенциал электростатического поля. Потенциал поля точечного заряда, системы зарядов. Связь потенциала и напряженности поля.
5. Диполь. Электрический момент диполя. Момент сил, действующих на диполь.
6. Проводники. Проводники в электростатическом поле. Явление электростатической индукции.
7. Поле внутри заряженного проводника и у его поверхности. Распределение заряда в проводнике. Заряженный проводник. Электростатическая защита.
8. Емкость уединенного проводника. Взаимная емкость двух проводников. Соединения конденсаторов.
9. Электрический ток в проводнике. Сила и плотность тока. Сопротивление проводника. Закон Ома для однородного проводника.
10. Сторонние силы. ЭДС. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Частные случаи. Закон Джоуля - Ленца.
11. Сила Лоренца. Принцип суперпозиции магнитных полей.
12. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля.
13. Сила Ампера. Закон Ампера. Сила взаимодействия двух токов.
14. Закон электромагнитной индукции. Механизмы возникновения индукционных токов в проводнике. Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. Индуктивность соленоида.
15. Диэлектрики. Электрическое поле в диэлектрике. Связанные и сторонние заряды. Виды поляризации.
16. Поляризованность. Теорема Гаусса для вектора поляризации. Диэлектрическая восприимчивость. Диэлектрическая проницаемость.
17. Сегнетоэлектрики и их применение. Диэлектрический гистерезис. Пьезоэлектрики.
18. Намагниченность. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.
19. Ферромагнетизм. Классификация ферромагнитных материалов. Петля гистерезиса. Анти- ферромагнетики, ферримагнетики.
20. Система уравнений Максвелла, их физический смысл.
21. Законы геометрической оптики.
22. Когерентность световых волн. Проблема когерентности света.
23. Интерференция света. Условия максимума и минимума интерференции. Расчет-схемы Юнга.
24. Интерференция света в тонких пленках. Полосы равного наклона и полосы равной толщины.
25. Просветление оптики. Оптические аберрации. Интерференции в природе и технике.
26. Кольца Ньютона.
27. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Примеры проявления. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Метод зон Френеля.
28. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Зонная пластинка.

29. Дифракция Френеля на круглом препятствии.

30. Дифракционная решетка. Разрешающая способность дифракционной решетки.

Дифракция в технике.

31. Получение голограмм.

32. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия.

33. Тепловое излучение. Законы излучения абсолютно черного тела.

34. Квантовая гипотеза Планка. Фотоны.

35. Фотоэффект и его законы.

36. Эффект Комптона.

37. Корпускулярно-волновой дуализм света. Волны де Бройля.

38. Теория Бора. Атом водорода по Бору.

39. Основы квантовомеханических представлений. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

40. Квантовая теория атомов. Правила заполнения таблицы Менделеева.

41. опыты Резерфорда. Состав ядра атома. Изотопы. Энергия связи ядра. Дефект массы.

42. Стабильные и нестабильные ядра. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.

РАЗДЕЛ 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Цели учебной дисциплины:

- изучение основных понятий, законов, принципов и теорий классической и квантовой физики;
- изучение основных физических явлений и процессов и их трактовка с точки зрения современных научных представлений;
- формирование современного физического мышления и научного миро-воззрения;
- ознакомление с методами физических исследований;
- систематизация и обобщение знаний с точки зрения общих идей, соответствующих современному уровню развития науки, а именно: о единстве мира, о фундаментальности вероятностных закономерностей, всеобщности принципа симметрии, принципа соответствия, идей, формирующих новые приемы мышления.

Задачи учебной дисциплины:

- создание теоретической подготовки в области физики электромагнитных явлений, позволяющей будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации;
- обеспечение определенной методологической подготовки, позволяющей понимать процесс познания и структуру научного знания, использовать различные физические понятия, определять границы применимости принципов, законов и теорий;
- ознакомление с современной научной аппаратурой, формирование навыков проведения физического эксперимента;
- овладение примерами и методами решения конкретных задач из отдельных разделов физики.

В результате изучения дисциплины «Физика» формируются следующие компетенции:

- АК-1 уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- АК-2 владеть системным и сравнительным анализом;
- АК-3 владеть исследовательскими навыками;
- АК-4 уметь работать самостоятельно;
- АК-5 быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью);
- АК-6 владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- АК-9 уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни;
- АК-10 использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- АК-14 на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценить результаты своей деятельности;
- СЛК-1 обладать качествами гражданственности;
- СЛК-2 быть способным к социальному взаимодействию;
- СЛК-3 обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- СЛК-5 быть способным к критике и самокритике;
- СЛК-6 уметь работать в команде.

В результате изучения учебной дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основные понятия, законы и физические модели электричества и магнетизма, колебаний и волн, а также волновой оптики;
- новейшие достижения в области физики и перспективы их использования для развития материальной базы информатики;

уметь:

- использовать основные законы физики в инженерной деятельности при разработке новых методов записи, хранения и передачи информации;
- использовать методы теоретического и экспериментального исследования при решении физических задач информатики;
- использовать методы численной оценки порядка величин, характерных для различных прикладных разделов информатики;

владеть:

- методами экспериментальной и теоретической физики в целях разработки физических основ устройств записи, хранения и передачи информации;
- физическими принципами кодирования информации в различных информационных системах;
- навыками работы по оценке состояния и тенденций развития носителей информации.

Согласно учебному плану для заочной (дистанционной) формы получения высшего образования на изучение дисциплины отведено всего 188 часа, из них — 38 часов аудиторных.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблице 2.

Таблица 2

Заочная (дистанционная) форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Практические занятия, ч.	Консультации по расписанию, ч.	Форма текущей аттестации
1	2	10	8	20	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Тема 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Принцип суперпозиции сил. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции полей. Напряженность поля точечного заряда и системы зарядов. Поток и дивергенция векторного поля. Теорема Гаусса для электростатического поля (в интегральной и локальной формах). Циркуляция и ротор векторного поля. Теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля. Безвихревой

характер электростатического поля. Потенциал электростатического поля. Связь потенциала и напряженности электростатического поля.

Тема 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДИПОЛЯ

Потенциал поля точечного заряда и системы зарядов. Электрический момент диполя. Момент сил, действующих на диполь в электростатическом поле. Потенциальная энергия диполя в электростатическом поле. Сила, действующая на диполь в неоднородном электростатическом поле.

Раздел 2. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Тема 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ДИЭЛЕКТРИКАХ

Диэлектрики. Связанные и сторонние заряды. Поляризованность. Диэлектрическая восприимчивость. Вектор электрического смещения. Диэлектрическая проницаемость. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Условия на границе двух диэлектриков. Сегнетоэлектрики и их применение.

Тема 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ПРОВОДНИКАХ

Проводники. Проводники в электростатическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение заряда в проводнике. Электроемкость уединенного проводника. Емкость системы проводников. Конденсаторы. Потенциальная энергия системы зарядов. Энергия электростатического поля. Плотность энергии.

Раздел 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Тема 5. ТЕОРИЯ ПРОВОДИМОСТИ ДРУДЭ-ЛОРЕНЦА

Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности. Сопротивление проводника. Закон Ома для однородного проводника. Сторонние силы. ЭДС. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Обобщенный закон Ома в локальной форме. Закон Джоуля – Ленца.

Раздел 4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Тема 6. МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЗАКОН БИО-САВАРА-ЛАПЛАСА. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ПРИРОДА МАГНЕТИЗМА

Релятивистская природа магнетизма. Поле равномерно движущегося заряда. Магнитная индукция B . Сила Лоренца. Принцип суперпозиции полей. Закон Био – Савара – Лапласа. Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля (в интегральной и локальной формах). Теорема о циркуляции вектора B . Вихревой характер магнитного поля. Сила Ампера.

Тема 7. МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ И РАБОТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Магнитный момент контура с током. Сила, действующая на контур с током в магнитном поле. Работа сил магнитного поля при перемещении контура с током. Потенциальная механическая энергия контура с током в магнитном поле.

Раздел 5. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Тема 8. ВЕКТОР НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ H . ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ ВЕКТОРА H

Намагниченность. Токи намагничивания. Циркуляция намагниченности. Вектор напряженности магнитного поля H . Теорема о циркуляции вектора H .

Тема 9. ДИАМАГНЕТИКИ, ПАРАМАГНЕТИКИ, ФЕРРОМАГНЕТИКИ. ХРАНЕНИЕ И ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ

Условия на границе двух магнетиков. Кривая намагничивания. Гистерезис. Остаточная намагниченность. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Доменная структура и петля гистерезиса (ферро, ферри-, антиферромагнетики). Кристаллическая структура ферромагнетиков. Материалы с колоссальным магнетосопротивлением (новые магнитоактивные композиты и материалы для магнитной записи, спинтроники). Устройства записи и хранения информации на основе сегнетоэлектриков и ферромагнетиков.

Раздел 6. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Тема 10. ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ. ПРАВИЛО ЛЕНЦА. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

Опыты Фарадея. Правило Ленца. Полный магнитный поток (потокосцепление). Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея). Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. Взаимная индуктивность. Энергия магнитного поля. Плотность энергии магнитного поля.

Раздел 7. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Тема 11. ТОК СМЕЩЕНИЯ. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА. СВЕТ КАК ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА. ПЛОСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ИЗЛУЧЕНИЕ ДИПОЛЯ

Вихревое электрическое поле. Электромагнитное поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла. Закон сохранения энергии в электродинамике. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Волновые уравнения для электромагнитной волны. Основные свойства плоской электромагнитной волны. Опыты Герца. Опыт Лебедева. Интенсивность электромагнитной волны. Поведение плоской электромагнитной волны на границе раздела двух сред. Излучение диполя.

Раздел 8. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Тема 12. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Законы геометрической оптики. Принцип суперпозиции волн. Закон сложения интенсивностей при суперпозиции двух волн. Условия возникновения интерференции. Понятие когерентности. Оптическая длина пути и оптическая разность хода. Условия интерференционных максимумов и минимумов. Время и длина когерентности. Способы наблюдения интерференции. Опыт Ллойда. Интерференция при отражении от тонких пленок. Просветление оптики.

Тема 13. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Зоны Френеля. Дифракция Френеля от круглого отверстия и диска. Дифракция Фраунгофера от щели. Дифракционная решетка. Угловое распределение интенсивности света в дифракционной картине от решетки. Условия дифракционных максимумов и минимумов. Угловая дисперсия и разрешающая сила решетки.

Тема 14. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации. Поляризаторы и анализаторы. Закон Малюса. Степень поляризации. Поляризация при отражении и преломлении света. Формулы Френеля. Угол Брюстера и закон Брюстера. Вращение плоскости поляризации.

Тема 15. ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

Элементарная теория дисперсии. Групповая скорость. Взаимодействие излучения с веществом. Поглощение света. Рассеяние света. Эффект Вавилова-Черенкова.

Раздел 9. ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ФИЗИКУ

Тема 16. ТРУДНОСТИ И НЕДОСТАТОЧНОСТЬ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Равновесное тепловое излучение. Внешний фотоэффект. Атом водорода. Эффект Комптона.

Тема 17. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Волновая функция и ее свойства. Операторы и уравнение Шредингера.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

№ пп	Наименование раздела, темы	Всего (часы)	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные занятия (часы)
1	2	3	4	5	6
1	Раздел: Электростатическое поле в вакууме. Тема: Электростатика	4	2	2	
2	Раздел: Электростатическое поле в веществе. Тема: Электрическое поле в диэлектриках.	4	2	2	
3	Раздел: Электрический ток Тема: Теория проводимости Друдэ-Лоренца	4	2	2	
4	Раздел: Магнитное поле в вакууме Тема: Магнитная индукция. Закон Био-Савара-Лапласа.	2		2	
5	Раздел: Волновая оптика Тема: Интерференция света. Дифракция света	2	2		
6	Раздел: Введение в квантовую физику Тема: Основные принципы квантовой механики	2	2		
	ИТОГО:	18	10	8	

3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Савельев, И. В. Курс физики. Т. 2 / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1989.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики Т. 2 / И. В. Савельев. – М. : Апрель АСТ, 2003.
3. Детлаф, А. А. Курс общей физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. : Высш. шк., 1989.
4. Наркевич, И. И. Физика для втузов. Т. 2 / И. И. Наркевич, Э. И. Волмянский, С. И. Лобко. – Минск : Выш. шк., 1992.
5. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Наука, 1988.
6. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов. – М. : НТЦ ВЛАДИС, 1997.
7. Физика. Ч. 4. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : курс лекций : учебно-методический комплекс для студентов [строительных специальностей] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Физика" ; сост.: А. К. Есман [и др.]. - Минск : БНТУ, 2016.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

8. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Т. 2 / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1977–1986.
9. Берклеевский курс физики. Т. 2. – М. : Наука, 1975–1977.
10. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 1–10 / Р. Фейнман. – М. : Мир, 1977.
11. Орир, Дж. Физика. Т. 1–2 / Дж. Орир. – М. : Мир, 1981.
12. Иродов, И. Е. Основные законы механики / И. Е. Иродов. – М. : Высш. шк., 1985.
13. Иродов, И. Е. Основные законы электромагнетизма / И. Е. Иродов. – М. : Высш. шк., 1983.
14. Калашников, С. Г. Электричество / С. Г. Калашников. – М. : Высш. шк., 1985.
15. Калитиевский, Н. И. Волновая оптика / Н. И. Калитиевский. – М. : Высш. шк., 1978.
16. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – М. : Наука, 1976.
17. Астахов, А. В. Курс общей физики. Т. 2 / А. В. Астахов, Ю. М. Широков. – М. : Наука, 1977.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Десятичные приставки

Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель
тера	T	10 ¹²	деци	д	10 ⁻¹
гига	G	10 ⁹	санتي	с	10 ⁻²
мега	M	10 ⁶	милли	м	10 ⁻³
кило	к	10 ³	микро	мк	10 ⁻⁶
гекта	г	10 ²	нано	н	10 ⁻⁹
дека	да	10 ¹	пико	п	10 ⁻¹²

Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII										
1	1	(H)						H ¹ Водород 1,00797	He ² Гелий 4,0026	Обозначение элемента									
2	2	Li ³ Литий 6,939	Be ⁴ Бериллий 9,0122	B ⁵ Бор 10,811	C ⁶ Углерод 12,01115	N ⁷ Азот 14,0067	O ⁸ Кислород 15,9994	F ⁹ Фтор 18,9984	Ne ¹⁰ Неон 20,179	Атомный номер									
3	3	Na ¹¹ Натрий 22,9898	Mg ¹² Магний 24,305	Al ¹³ Алюминий 26,9815	Si ¹⁴ Кремний 28,086	P ¹⁵ Фосфор 30,9738	S ¹⁶ Сера 32,064	Cl ¹⁷ Хлор 35,453	Ar ¹⁸ Аргон 39,948	Относительная атомная масса									
4	4	K ¹⁹ Калий 39,102	Ca ²⁰ Кальций 40,08	21 44,956	Sc ²² Скандий 47,90	Ti ²³ Титан 50,942	V ²⁴ Ванадий 51,996	Cr ²⁵ Хром 54,9380	Mn ²⁶ Марганец 55,847	Fe ²⁷ Железо 58,9330	Co ²⁸ Кобальт 58,71	Ni ²⁸ Никель							
	5	29 63,546	Cu ³⁰ Медь 65,37	Zn ³¹ Цинк 69,72	Ga ³² Галлий 72,59	Ge ³³ Германий 74,9216	As ³⁴ Мышьяк 78,96	Se ³⁵ Селен 79,904	Br ³⁶ Бром 83,80	Kr ³⁶ Криптон									
5	6	Rb ³⁷ Рубидий 85,47	Sr ³⁸ Стронций 87,62	39 88,905	Y ⁴⁰ Иттрий 91,22	Zr ⁴¹ Цирконий 92,906	Nb ⁴² Ниобий 95,94	Mo ⁴³ Молибден [99]	Tc ⁴⁴ Технеций 101,07	Ru ⁴⁵ Рутений 102,905	Rh ⁴⁶ Родий 106,4	Pd ⁴⁶ Палладий							
	7	47 107,868	Ag ⁴⁸ Серебро 112,40	Cd ⁴⁹ Кадмий 114,82	In ⁵⁰ Индий 118,69	Sn ⁵¹ Олово 121,75	Sb ⁵² Сурьма 127,60	Te ⁵³ Теллур 126,9044	I ⁵⁴ Иод 131,30	Xe ⁵⁴ Ксенон									
6	8	Cs ⁵⁵ Цезий 132,905	Ba ⁵⁶ Барий 137,34	57 138,91	La* Лантан	Hf ⁷² Гафний 178,49	Ta ⁷³ Тантал 180,948	W ⁷⁴ Вольфрам 183,85	Re ⁷⁵ Рений 186,2	Os ⁷⁶ Осмий 190,2	Ir ⁷⁷ Иридий 192,2	Pt ⁷⁸ Платина 195,09							
	9	79 196,967	Au ⁸⁰ Золото 200,59	Hg ⁸¹ Ртуть 204,37	Tl ⁸² Таллий	Pb ⁸³ Свинец 207,19	Bi ⁸⁴ Висмут 208,980	Po ⁸⁵ Полоний [210]*	At ⁸⁶ Астат [210]	Rn ⁸⁶ Радон [222]									
7	10	Fr ⁸⁷ Франций [223]	Ra ⁸⁸ Радий [226]	89 [227]	Ac** Актиний	104 [261]	Rf ¹⁰⁵ Резерфордий	105 [262]	Db ¹⁰⁶ Дубний	106 [263]	Sg ¹⁰⁷ Сиборгий	107 [262]	Bh ¹⁰⁸ Борий	108 [265]	Hs ¹⁰⁹ Хассий	109 [266]	Mt ¹¹⁰ Майтнерий	110 [271]	Ds ¹¹⁰ Дармштадтий
	11	111 [272]	Rg ¹¹² Рентгений	112 [285]	Cn ¹¹³ Коперниций	Nh ¹¹⁴ Нихоний [286]	Fl ¹¹⁴ Флеровий	115	Mc ¹¹⁵ Московский	116	Lv ¹¹⁶ Ливерморий	117	Ts ¹¹⁷ Теннессин	118 [294]	Og ¹¹⁸ Оганесон				

Лантаноиды*	58 140,12	Ce Церий	59 140,907	Pr Празеодим	60 144,24	Nd Неодим	61 [147]*	Pm Прометий	62 150,35	Sm Самарий	63 151,96	Eu Европий	64 157,25	Gd Гадолиний	65 158,924	Tb Тербий	66 162,50	Dy Диспрозий	67 164,930	Ho Гольмий	68 167,26	Er Эрбий	69 168,934	Tm Тулий	70 173,04	Yb Иттербий	71 174,97	Lu Лютеций
Актиноиды**	90 232,038	Th Торий	91 [231]	Pa Протактиний	92 238,03	U Уран	93 [237]	Np Нептуний	94 [244]	Pu Плутоний	95 [243]	Am Америций	96 [247]	Cm Кюрий	97 [247]	Bk Берклий	98 [252]*	Cf Калифорний	99 [254]	Es Эйнштейний	100 [257]	Fm Фермий	101 [257]	Md Менделевий	102 [255]	No Нобелий	103 [256]	Lr Лоуренсий

Работа выхода электронов

Металл	A , Дж	A , эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Масса нейтральных атомов (а.е.м.)

Элемент	Изотоп	Масса	Элемент	Изотоп	Масса
Нейтрон	${}^1_0\text{n}$	1,00866	Бериллий	${}^9_4\text{Be}$	9,01219
Водород	${}^1_1\text{H}$	1,00783	Бор	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294
	${}^2_1\text{H}$	2,01410	Углерод	${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
	${}^3_1\text{H}$	3,01605		${}^{13}_6\text{C}$	13,00335
Гелий	${}^3_2\text{He}$	3,01603		${}^{14}_6\text{C}$	14,00324
	${}^4_2\text{He}$	4,00260	Азот	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307
Литий	${}^6_3\text{Li}$	6,01513	Кислород	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491
	${}^7_3\text{Li}$	7,01601		${}^{17}_8\text{O}$	16,99913

Периоды полураспада некоторых радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Кальций	${}^{45}_{20}\text{Ca}$	164 сут.
Йод	${}^{131}_{53}\text{I}$	8,05 дня
Стронций	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	29,1 года
Цезий	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	30 лет
Плутоний	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	24 390 лет