МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

В.И. Слуев, А.В. Клыгин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ 1-го КУРСА ФЗО

Москва 2004

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

В.И. Слуев, А.В. Клыгин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ 1-го КУРСА ФЗО

Учебно-методическое пособие

Одобрено редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России

Москва 2004

Методические указания и контрольные задания по физике. Ч.2. Учебное пособие/ В.И. Слуев, А.В. Клыгин, - М.: Академия ГПС МЧС России, 2004.

Рецензенты: начальник кафедры "Механики и инженерной графики", к.ф.-м.н., доцент В.Н. Ильин, доцент кафедры " Теория горения и взрыва" к.т.н. А.С. Андросов.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей 1 курса ФЗО. Оно содержит контрольные задания, общие рекомендации слушателю - заочнику по самостоятельной работе, примеры решения задач, основные определения и формулы и необходимый справочный материал.

Введение

Физика является одной из общенаучных дисциплин, образующих фундаментальную базу теоретической подготовки инженера, без которой его успешная деятельность невозможна.

Настоящее пособие предназначено для слушателей 1 курса ФЗО и содержит контрольные задания, общие рекомендации слушателю-заочнику по самостоятельной работе над темами общего курса физики, включенными в учебный план, примеры решения задач и основные формулы и определения. Основу контрольных заданий составляют задачи сборника Слуева В.И. « Пожары, катастрофы и безопасность людей в задачах по физике».

Правила выполнения и оформления контрольных работ

При выполнении контрольных работ надо строго придерживаться указанных правил. Работы, выполненные без соблюдения этих правил, не зачитываются и возвращаются слушателю для переработки.

1. Контрольную работу следует выполнять в тетради, отдельной для каждой работы, чернилами любого цвета, кроме красного, оставляя поля для замечаний рецензента.
2. На обложке тетради должны быть ясно написаны фамилия слушателя, инициалы, учебный номер, номер контрольной работы, название дисциплины. Здесь же следует указать адрес слушателя. В конце контрольной работы рекомендуется указать, каким учебником или учебным пособием слушатель пользовался при изучении данного раздела курса физики.
3. В работу должны быть включены все задачи, указанные в задании строго по варианту. Вариант контрольной работы определяется по указанию кафедры физики по учебному номеру слушателя. Контрольные работы, содержащие не все задачи задания, а также содержащие задачи не своего варианта, не зачитываются.
4. Решения задач надо располагать в порядке номеров, указанных в задании, сохраняя номер задач.
5. Перед решением каждой задачи надо выписать полностью словами её условие.
6. Решения задач следует излагать подробно и аккуратно, письменно объясняя все действия по ходу решения. Необходимые чертежи и схемы следует выполнять аккуратно, с помощью чертёжных принадлежностей.
7. После получения прорецензированной не зачтённой работы слушатель должен исправить все отмеченные рецензентом ошибки и недочёты и

выполнить все рекомендации рецензента. Исправленная работа высылается для повторной проверки. Для исправлений и повторного решения задач рекомендуется в конце тетради оставлять несколько чистых листов. Вносить исправления в текст работы после рецензирования запрещается.

Общие рекомендации слушателю-заочнику по работе над курсом физики

Основной формой обучения слушателя-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом, которая состоит из изучения материала по учебникам и выполнения контрольных работ. В помощь заочникам организуются чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы в соответствии с учебным планом. Слушатель-заочник может обращаться письменно или устно на кафедру для получения индивидуальной консультации. Изучение отдельных частей курса физики заканчивается сдачей экзаменов.

Изучение материала из учебника.

1. При изучении материала по учебнику следует руководствоваться вопросами рабочей программы по каждому разделу курса физики. Переходить к следующему вопросу надо только после правильного понимания предыдущего.
2. Особое внимание следует обращать на определение основных понятий, выяснять физический смысл тех или иных величин, их обозначение и единицы в СИ.
3. Необходимо уяснить содержание формулировок физических законов, их математическую запись в виде формул, а также особенности применения данных законов.
4. При изучении материала по учебнику полезно вести конспект, в который рекомендуется выписывать определения, формулировки законов и их формулы.

Решение задач

Усвоение теоретического материала контролируется решением задач. Задачи по физике охватывают разнообразные явления и отличаются большим многообразием, поэтому выработать навыки решения задач можно только в результате систематических занятий. Решая задачи целесообразно пользоваться следующей общей методикой.

1. Записать условие задачи полностью словами, обращая внимание на « скрытые « условия.
2. Записать условия задачи кратко, выразив все данные в СИ.
3. Выполнить схематический чертёж, поясняющий задачу
4. Установить, какие физические законы лежат в основе задачи и записать формулы этих законов
5. На основе формул физических законов составить уравнения для нахождения искомых величин.
6. Решить задачу в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи (получить расчётную формулу).
7. После получения расчётной формулы рекомендуется сделать проверку единиц физических величин, входящих в эту формулу.
8. Подставить в расчётную формулу числовые значения величин, выраженные в единицах СИ и получить числовой ответ. При подстановке в расчётную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Вычисления по расчётной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими цифрами.

Рекомендуемая литература.

1. Детлаф А.А.,Яворский Б.М. Курс физики.-М.: Высшая школа,1989.
2. Трофимова Т.И. Курс физики.-М.:Высшая школа, 1993.
3. Слуев В.И. Пожары, катастрофы и безопасность людей в задачах по физике.- М.: МИПБ, 1998.
4. Чертов А.Г.,Воробьев А.А. Задачник по физике.- М.: Высшая школа, 1983.
5. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики.-М.: Высшая школа, 1991.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Выписка из рабочей программы.

1. Электрические свойства тел. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.
2. Электрическое поле. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции электрических полей.
3. Поток вектора напряжённости. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме.
4. Применение теоремы Остроградского-Гаусса к расчёту напряжённости поля различных заряженных тел.
5. Работа сил электрического поля при перемещении зарядов. Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля.
6. Потенциал электростатического поля. Связь между напряжённостью электростатического поля и потенциалом. Вычисление разности потенциалов по напряжённости поля.
7. Электрический диполь. Диполь в однородном электрическом поле.
8. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность (вектор поляризации). Электрическое смещение. Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в диэлектрике.
9. Проводники в электростатическом поле. Распределение зарядов в проводниках. Электрическая ёмкость уединённого проводника.
10. Конденсаторы. Соединение конденсаторов.
11. Энергия системы точечных зарядов, уединённого проводника и конденсатора. Энергия электростатического поля.
12. Электрический ток, сила и плотность тока. Сопротивление проводников.
13. Источники тока. Электродвижущая сила и напряжение. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников.
14. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца.
15. Разветвлённые цепи. Правила Кирхгофа для разветвлённых цепей.
16. Элементарная классическая теория электропроводности металлов. Объяснение закона Ома и Джоуля-Ленца на основе этой теории.
17. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Электрический ток в вакууме. Устройство электровакуумных приборов.

Основные определения и формулы

Закон сохранения заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов любой замкнутой системы (системы, не обменивающейся зарядами с внешними телами) остаётся неизменной, какие бы процессы ни происходили внутри этой системы.

$$\sum Q_i = \text{const}$$

Существует два типа электрических зарядов: положительные и отрицательные.

Электрический заряд дискретен, т.е. заряд любого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда *e.* Электрон и протон являются соответственно носителями элементарных отрицательного и положительного зарядов.

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл}$$

$$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ \text{кг - масса электрона}$$

$$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \text{кг - масса протона}$$

Закон Кулона: сила взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, пропорциональна зарядам Q_1 и Q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

[$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Ф/м, ε_0 – электрическая постоянная].

Электрическая постоянная:

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м}$$

Напряжённость электростатического поля – физическая величина, определяемая силой, действующей на единичный положительный заряд, помещённый в данную точку поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}$$

Единица напряжённости электростатического поля – ньютон на кулон (Н/Кл).

$$1\ \text{Н/Кл} = 1\ \text{В/м}$$

Напряжённость электростатического поля точечного заряда Q на расстоянии r от заряда.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей: напряжённость $\vec{E}$ результирующего поля, создаваемого системой зарядов, равна геометрической сумме напряжённостей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов в отдельности.

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

Электрический диполь – система двух равных по модулю разноимённых точечных зарядов (+*Q*,, - *Q*), расстояние *l* между которыми значительно меньше расстояния до рассматриваемых точек поля.

Плечо диполя – вектор, направленный по оси диполя (прямой, проходящей через оба заряда) от отрицательного заряда к положительному и равный расстоянию между ними.

Электрический момент диполя (дипольный момент).

$$\vec{p} = |Q|\vec{l}$$

[*l* – плечо диполя]

Поток вектора напряжённости сквозь площадку d*S*.

$$d\Phi_{\mathrm{E}} = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS$$

[$d\vec{S} = dS\,\vec{n}$ - вектор, модуль которого равен *dS*,а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке; E_n – составляющая вектора $\vec{E}$ по направлению нормали $\vec{n}$ к площадке].

Поток вектора напряжённости сквозь произвольную поверхность *S*.

$$\Phi_E = \int_S \vec{E}d\vec{S} = \int_S E_n dS$$

Линейная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу длины.

$$\tau = \frac{dQ}{dl}$$

Поверхностная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу поверхности.

$$\sigma = \frac{dQ}{dS}$$

Объёмная плотность заряда – заряд, приходящийся на единицу объёма.

$$\rho = \frac{dQ}{dV}$$

Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме: поток вектора напряжённости электростатического поля в вакууме сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключённых внутри этой поверхности зарядов, делённой на ε_0.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} Q_i = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV$$

[ε_0 - электрическая постоянная; $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ - алгебраическая сумма зарядов, заключённых внутри замкнутой поверхности *S*; *n* – число зарядов; ρ – объёмная плотность зарядов].

Напряжённость поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью.

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

Напряжённость поля, создаваемого двумя бесконечными параллельными разноимённо заряженными плоскостями.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Напряжённость поля, создаваемого равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом R с общим зарядом Q на расстоянии r от центра сферы.

$$E = 0$$

[при $r < R$ (внутри сферы)]

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

[при $r \geq R$ (вне сферы)]

Напряжённость поля, создаваемого объёмно заряженным паром радиусом R с общим зарядом Q на расстоянии r от центра шара.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^3} r$$

[при $r \leq R$ (внутри шара)]

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

[при $r \geq R$ (вне шара)]

Напряжённость поля, создаваемого равномерно заряженным бесконечным цилиндром радиусом R на расстоянии r от оси цилиндра.

$$E = 0$$

[при $r < R$ (внутри цилиндра)]

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\tau}{r}$$

[при $r \geq R$ (вне цилиндра)]

Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля вдоль замкнутого контура.

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \oint_L E_l dl = 0$$

[E_l – проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$. Интегрирование производится по любому замкнутому пути L].

Потенциальная энергия заряда *Q_0*, находящегося в поле заряда Q на расстоянии r от него.

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{QQ_0}{r}$$

Потенциал электростатического поля – физическая величина, определяемая потенциальной энергией единичного положительного заряда, помещённого в данную точку,

$$\varphi = \frac{U}{Q_0}$$

или **потенциал –** физическая величина, определяемая работой по перемещению единичного положительного заряда при удалении его из данной точки в бесконечность**.**

$$\varphi = \frac{A_\infty}{Q_0}$$

Потенциал – энергетическая характеристика электростатического поля.

Единица потенциала – вольт (В).

Потенциал электростатического поля точечного заряда на расстоянии r от заряда.

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

Принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей: если поле создаётся несколькими зарядами, то потенциал поля системы зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей всех этих зарядов.

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i$$

Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда Q_0 из точки 1 в точку 2.

$$A_{12} = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2) \quad \text{или} \quad A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \int_1^2 E_l dl$$

[E_l – проекция вектора $\vec{E}$ - на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$].

Разность потенциалов между двумя точками 1 и 2 в электростатическом поле определяется работой, совершаемой силами поля, при перемещении единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \int_1^2 E_l dl$$

[интегрирование можно производить вдоль любой линии, соединяющей начальную и конечную точки, так как работа сил электростатического поля не зависит от траектории перемещения].

Формула, связывающая напряжённость и потенциал электростатического поля.

$$\vec{E} = -grad\varphi \quad \text{или} \quad \vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right)$$

[$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные векторы координатных осей. Знак минус определяется тем, что вектор напряжённости $\vec{E}$ поля направлен в сторону убывания потенциала].

Эквипотенциальные поверхности – поверхности, во всех точках которых потенциал φ имеет одно и тоже значение.

Линии напряжённости всегда нормальны к эквипотенциальным поверхностям.

Поляризованность – дипольный момент единицы объёма диэлектрика.

$$\vec{p} = \sum_i \frac{\vec{p_i}}{V}$$

[V – объём диэлектрика; $\vec{p_i}$ - дипольный момент i – ой молекулы].

Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P} = æ\,\varepsilon_0 \vec{E}$$

[*æ* – диэлектрическая восприимчивость вещества, E – напряжённость электростатического поля].

Диэлектрическая проницаемость – безразмерная величина, показывающая, во сколько раз электрическое поле ослабляется диэлектриком

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0}$$

[E_0 – напряжённость поля в отсутствие диэлектрика, E – напряжённость поля в диэлектрике].

Формула, связывающая напряжённость E поля в диэлектрике и напряжённость E_0 внешнего поля.

$$E = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0} \quad \text{или} \quad E = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

Электрическое смещение

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

[$\vec{E}$ - напряжённость электростатического поля].

Единица электрического смещения – **кулон на квадратный метр**

(1 Кл/м^2)

Формула, связывающая $\vec{D}, \vec{E}, \vec{P}$.

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике: поток вектора смещения электростатического поля в диэлектрике сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключённых внутри этой поверхности свободных электрических зарядов

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^{n} Q_i$$

[$\sum_{i=1}^{n} Q_i$ - алгебраическая сумма заключённых внутри замкнутой поверхности S свободных электрических зарядов; D_n – составляющая вектора $\vec{D}$ по направлению нормали $\vec{n}$ к площадке $d\vec{S}$; $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ -

вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке. Интегрирование ведётся по всей поверхности].

Условия на границе раздела двух диэлектрических сред (проницаемости которых ε_1 и ε_2) при отсутствии на границе свободных зарядов

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}; \quad D_{1n} = D_{2n};$$

$$\frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}; \quad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

[E_τ, D_τ и E_n, D_τ – соответственно тангенциальные и нормальные составляющие векторов $\vec{E}$ и $\vec{D}$].

Электроёмкость уединённого проводника (определяется зарядом, сообщение которого проводнику изменяет его потенциал на единицу)

$$C = \frac{Q}{\varphi}$$

[Q – заряд, сообщённый проводнику; φ - потенциал проводника].

Единица электроёмкости – фарад (Ф).

Ёмкость конденсатора – физическая величина, равная отношению заряда Q, накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов (φ_1 - φ_2) между его обкладками.

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

Ёмкость плоского конденсатора (обкладки – две плоские пластины)

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

[S – площадь каждой пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами].

Ёмкость цилиндрического конденсатора (обкладки – два коаксиальных цилиндра)

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln(r_2 / r_1)}$$

[l – длина обкладок конденсатора; r_1 и r_2 - радиусы полых коаксиальных цилиндров].

Ёмкость сферического конденсатора (обкладки – две концентрические сферы)

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

[r_1 и r_2 - радиусы концентрических сфер].

Ёмкость системы конденсаторов при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n} \quad \text{или} \quad \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

[C_i – ёмкость i – конденсатора; n – число конденсаторов].

Ёмкость системы конденсаторов при параллельном соединении

$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n \quad \text{или} \quad C = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

Энергия уединённого заряженного проводника.

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

Энергия взаимодействия системы точечных зарядов.

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} Q_i \varphi_i$$

[φ_i – потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд Q_i, всеми зарядами кроме i - го].

Энергия заряженного конденсатора.

$$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

[Q – заряд конденсатора, C – его ёмкость, $\Delta\varphi$ - разность потенциалов между обкладками].

Энергия электростатического поля плоского конденсатора.

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V$$

[S – площадь одной пластины, U – разность потенциалов между пластинами, $V=Sd$ – объём конденсатора].

Объёмная плотность энергии электростатического поля - энергия электростатического поля в единице объёма.

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$$

[ε_0 – электрическая постоянная, ε – диэлектрическая проницаемость среды, E – напряжённость электростатического поля].

Электрический ток – упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов.

Для возникновения и существования электрического тока необходимо, с одной стороны, наличие свободных носителей тока – заряженных частиц, способных перемещаться упорядоченно, а с другой – наличие электрического поля, энергия которого, каким-то образом восполняясь, расходовалась бы на их упорядоченное движение.

За направление тока условно принимают направление движения положительных зарядов.

Постоянный ток – ток, сила тока и направление которого не изменяются со временем.

Сила тока – скалярная физическая величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника за 1 с.

$$I = \frac{Q}{t}; \quad I = \frac{dQ}{dt}$$

Плотность тока – физическая величина, определяемая силой тока, проходящего через 1 м^2 площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направления тока.

$$j = \frac{I}{S}; \quad \vec{j} = \frac{dI}{dS_\perp}$$

Плотность тока – вектор, ориентированный по направлению тока, т.е. направление вектора $\vec{j}$ совпадает с направлением упорядоченного движения положительных зарядов.

$$\vec{j} = ne\left\langle \vec{\upsilon} \right\rangle$$

[n – концентрация носителей тока, < $\vec{\upsilon}$ > - скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике].

Сила тока сквозь произвольную поверхность *S*.

$$I = \int_S \vec{j}d\vec{S}$$

[$d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ ($\vec{n}$ - единичный вектор нормали к площадке dS, составляющей с вектором $\vec{j}$ угол α)].

Электродвижущая сила, действующая в цепи – физическая величина, определяемая работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда.

$$\xi = \frac{A}{Q_0} \quad \text{или} \quad \xi = \oint \vec{E}_{cm} d\vec{l}$$

[Q_0 – единичный положительный заряд, A – работа сторонних сил, $\vec{E}_{\text{ст}}$ – напряжённость поля сторонних сил].

Напряжение на участке *1 – 2* – физическая величина, определяемая работой, совершаемой суммарным полем электростатических (кулоновских) и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда на данном участке цепи.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \xi_{12}$$

Сопротивление однородного линейного проводника.

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

[ρ – удельное электрическое сопротивление, S – площадь поперечного сечения проводника; l – его длина].

Сопротивление проводников при последовательном соединении.

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n;$$

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

[R_i – сопротивление i – го проводника, n – число проводников].

Сопротивление проводников при параллельном соединении.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n};$$

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

[R_i – сопротивление i – го проводника, n – число проводников].

Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры.

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

[α – температурный коэффициент сопротивления].

Закон Ома для однородного участка цепи.

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

[U – напряжение на участке цепи, R – сопротивление цепи].

Закон Ома для неоднородного участка цепи (участка цепи с источником тока).

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \xi_{12}}{R}$$

[(φ_1 - φ_2) – разность потенциалов на концах участка цепи, ξ_{12} – ЭДС источника тока, входящих в участок].

Закон Ома для замкнутой цепи.

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

[ξ – ЭДС всех источников тока цепи].

Закон Ома в дифференциальной форме для однородного участка цепи.

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

[j – плотность тока, γ- удельная электропроводимость, $\vec{E}$ – напряжённость электростатического поля].

Работа постоянного тока.

$$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R^t}$$

[I – сила тока в цепи, U – напряжение на участке цепи, R – сопротивление, t - время].

Мощность тока.

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

Закон Джоуля – Ленца.

$$Q = I^2\ Rt = IUt$$

[Q – количество теплоты, выделяющееся в участке цепи за время t].

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.

$$w = jE = \gamma E^2$$

[w – удельная тепловая мощность тока (количество теплоты, выделяющееся за единицу времени в единице объёма)].

Узел электрической цепи – любая точка разветвления цепи, в которой сходится не менее трёх проводников с током.

Ток, входящий в узел, считается положительным, а ток, выходящий из узла, - отрицательным.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum_k I_k = 0$$

Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвлённой электрической цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивление R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС ξ_k, встречающихся в этом контуре.

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \xi_k$$

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Вариант № 1

Задача № 1

При производстве полиэтиленовой плёнки её широкая полоса движется по роликам. В результате трения и плохого заземления на плёнке появился электростатический заряд, поверхностная плотность которого $\sigma = 1{,}8 \cdot 10^{-8}$ *Кл/м²*. Электростатический пробой в воздухе при данных условиях возникает при напряжённости электрического поля $E_0 = 10^6$ *В/м.* Определить напряжённость электрического поля электростатических зарядов, которые находятся на плёнке, считая её бесконечной равномерно заряженной плоскостью. Возможен ли электрический пробой и возникновение пожара?

Задача № 2

Изменится ли мощность электроплитки, если её нагревательный элемент, изготовленный из нихрома, заменить на элемент с такими же размерами из реотана? Удельное сопротивление нихрома $\rho_1 = 1$ *Ом·мм²/м,* а реотана $\rho_2 = 0{,}5$ *Ом·мм²/м.*

Задача № 3

В технологической установке имеется электрическая цепь, состоящая из трёх одинаковых сопротивлений $R = 300$ *Ом*, которые включены параллельно, последовательно с ними включено сопротивление $R_1 = 40$ *Ом*. Эта цепь подключена к источнику тока с ЭДС $E = 15$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 10$ *Ом.* Эти сопротивления в цепи рассчитаны на мощность до $P_0 = 0{,}5$ *Вт.* Определить мощность, которая будет выделяться на каждом из сопротивлений. Сравнить её с допустимой. В результате аварии произошло замыкание точек *A* и *B*. Какая теперь будет выделяться мощность на внешнем сопротивлении R_1, есть ли опасность пожара (рис.)?

Задача № 4

За какое время в электрочайнике закипает вода объёмом $V = 3$ *л*? КПД электронагревателя $\eta = 60\%$, мощность электронагревателя $N = 600$ *Вт*, удельная теплоёмкость воды $C = 4{,}2 \cdot 10^3$ *Дж/(кг·К),* начальная температура воды $t_0 = 10$ *°С.*

Задача № 5

Два точечных заряда $Q_1 = 6$ *нКл* и $Q_2 = 3$ *нКл* находятся на расстоянии $d = 60$ *см* друг от друга. Какую работу необходимо совершить внешним силам, чтобы уменьшить расстояние между зарядами вдвое?

Задача № 6

Пылинка массой *m = 200 мгм*, несущая на себе заряд *Q = 40нКл*, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов *U = 200 В* пылинка имела скорость *v = 10 м/с*. Определить скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

Задача № 7

Конденсаторы ёмкостью C_1 *= 5 мкФ* и C_2 *= 10 мкФ* заряжены до напряжений U_1 *= 60 В* и U_2 *= 100 В* соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими одноимённые заряды.

Задача № 8

За время *t = 20 с* при равномерно возраставшей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике сопротивлением *R = 5 Ом* выделилось количество теплоты *Q = 4 кДж*. Определить скорость нарастания силы тока, если сопротивление проводника *R = 5 Ом*.

Вариант № 2

Задача № 1

Лента движущегося транспортёра в результате аварии стала электрически изолирована и вследствие трения накапливает электрический заряд. Электрический пробой в воздухе в данных условиях возникает при напряжении электрического поля $E_0 = 2 \cdot 10^6$ *В/м*. Возможно ли появление электрической искры и пожара, если поверхностная плотность зарядов на ленте $\sigma = 4 \cdot 10^{-5}$ *Кл/м*^{2}? Ленту считать бесконечно равномерно заряженной плоскостью.

Задача № 2

На какой ток должен быть рассчитан плавкий предохранитель, если необходимо в сеть с напряжением *U = 220 В* включить потребитель энергии мощностью *P = 2,2 кВт*?

Задача № 3

В технологической установке имеется цепь, состоящая из четырёх одинаковых сопротивлений *R = 50 Ом*, подключённых к источнику тока с ЭДС *E = 12 В,* и внутренним сопротивлением *r = 10 Ом.* Сопротивления во внешней цепи рассчитаны на мощность до P_0 *= 0,25 Вт*. Определить мощность, выделяющуюся на каждом из этих сопротивлений, и сравнить её с максимально допустимой. В результате аварии произошло замыкание точек *A* и *B*. Какая мощность будет выделяться на внешнем сопротивлении? Есть ли опасность пожара (рис.)?

Задача № 4

Электрический чайник с *0,6 л* воды при *10°C*, сопротивление обмотки которого равно *20 Ом*, забыли выключить. Через какое время вся вода в чайнике выкипит и возникнет опасность пожара. Напряжение в сети *220 В, КПД 70%.*

Задача № 5

Электрическое поле создано заряженным проводящим шаром, потенциал φ которого *300 В*. Определить работу сил поля по перемещению заряда $Q = 0{,}2$ *мкКл* из точки *1* в точку *2.*

Задача № 6

Электрон, обладавший кинетической энергией $T = 10$ *эВ*, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U = 8$ *В*?

Задача № 7

Конденсатор ёмкостью $C_1 = 10$ *мкФ* заряжен до напряжения $U = 10$ *В*. Определить заряд на обкладках этого конденсатора после того, как параллельно ему был подключен другой, незаряженный, конденсатор ёмкостью $C_2 = 20$ *мкФ*.

Задача № 8

Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha l}$, где $I_0 = 20$ *А*, $\alpha = 10^2$ c^{-1}. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за время $t = 10^{-2}$ *c*.

Вариант № 3

Задача № 1

В воздухе с пылевоздушной взрывоопасной смесью находится воздушный конденсатор с площадью параллельных пластин $S = 2$ $м^2$ и расстоянием между ними $d = 10^{-3}$ *м*. Электрический пробой в воздухе в данных условиях возможен при напряжённости электрического поля $E_0 = 2 \cdot 10^6$ *В/м.* В результате аварии на воздушный конденсатор подаётся постоянно увеличивающееся напряжение до возникновения электрического пробоя. Определить энергию искры при пробое, считая её равной энергии заряженного конденсатора. Возможно ли воспламенение пылевоздушной взрывоопасной смеси? Минимальная энергия её воспламенения $W_{восп} = 5\cdot10^{-2}$ *Дж.*

Задача № 2

При ликвидации последствий схода с горы снежной лавины необходимо срочно восстановить двухпроводную телефонную линию, которая получила повреждение – разрушена изоляция и замкнулись провода (сопротивление между проводами равно нулю). Где повреждена линия? Сопротивление единицы длины провода $\rho = 0,1$ *Ом/м*. Если вместо телефона подключить к ней аккумулятор с ЭДС $E = 12$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 1$*Ом*, то в цепи будет ток $I = 0,05$ *А*. Линия на противоположном конце разомкнута.

Задача № 3

В результате аварии произошёл обрыв электрического провода, один его конец упал на землю. Его потенциал в точке соприкосновения с землёй $\varphi_0 = 220$ *В*. Определить напряжение на *2-м* и *10-м* метре длины от заземлённого провода. Считать, что потенциал уменьшается от заземления по закону $\varphi = \varphi_0/(1 + r)$, где φ_0 – потенциал в точке заземления, r - расстояние от этой точки в метрах.

Задача № 4

Аккумулятор автомобиля с ЭДС $E = 12$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 2$ *Ом* в результате аварии замкнут проводником с сопротивлением *6 Ом*. Какое количество теплоты будет выделяться во внешней цепи за *1* секунду?

Задача № 5

Электрическое поле создано зарядами $Q_1 = 2$ *мкКл* и $Q_2 = -2$ *мкКл*, находящимися на расстоянии $a = 10$ *см* друг от друга. Определить работу сил поля, совершаемую при перемещении заряда $Q = 0,5$ *мкКл* из точки *1* в точку *2*.

Задача № 6

Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и K^{+}, прошедших одинаковую разность потенциалов.

Задача № 7

Конденсаторы емкостями $C_1 = 2$ *мкФ*, $C_2 = 5$ *мкФ* и $C_3 = 10$ *мкФ* соединены последовательно и находятся под напряжением $U = 850$ *В*. Определить напряжение и заряд на каждом из конденсаторов.

Задача № 8

Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 10$ *Ом* за время $t = 50$ *с* равномерно нарастает от $I_1 = 5$ *А* до $I_2 = 10$ *А*. Определить количество теплоты Q, выделившееся за это время в проводнике.

Вариант № 4

Задача № 1

В результате электризации на параллельных пластинах воздушного конденсатора ёмкостью $C = 10^{-9}$ *Ф* накапливается электрический заряд. При достижении величины заряда $Q = 2\cdot10^{-6}$ *Кл* возникает пробой (искра). В воздухе присутствует газовоздушная взрывоопасная смесь с минимальной энергией воспламенения $W_{восп} = 6\cdot10^{-3}$ *Дж*. Определить энергию искры, считая её равной энергии конденсатора. Есть ли опасность взрыва и пожара?

Задача № 2

При обвале в туннеле произошло повреждение двухпроводной телефонной линии. Считать, что в точке повреждения между проводами возник электрический контакт с неизвестным сопротивлением. Сопротивление единицы длины провода $\rho = 0{,}1$ *Ом/м*. Где повреждена линия (рис.)? Если с правой стороны к линии подключить аккумулятор с ЭДС $E = 12$ *В*, то в цепи будет ток $I_1 = 0{,}2$ *А*. Если этот аккумулятор подключить слева, в цепи будет ток $I_2 = 0{,}1$ *А*.

Задача № 3

В результате аварии электропровод упал на землю. В точке заземления потенциал $\varphi_0 = 24$ *кВ*. Определить электрический ток, который протекает через упавшего человека, если он имеет сопротивление $R = 50$ *кОм*. Считать, что потенциал уменьшается в зависимости от расстояния от точки заземления по закону $\varphi = \varphi_0/(1 + r)$. Оценить опасность для жизни человека.

Задача № 4

В автомобиле перегорела лампочка мощностью $N_1 = 4$ *Вт*, рассчитанная на напряжение $U_1 = 12$ *В*. Есть лампы, рассчитанные на напряжение $U_2 = 36$ *В*. Какой мощности надо выбрать лампу для замены?

Задача № 5

Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности зарядов которых $\sigma_1 = 2$ *мкКл/м*^{2} и $\sigma_2 = -0,8$ *мкКл/м*^{2}, находятся на расстоянии $d = 0,6$ *см* друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.

Задача № 6

Электрон с энергией $T = 400$ *эВ* (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10$ *см*. Определить минимальное расстояние a, на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд её $Q = -10$ *нКл*.

Задача № 7

Два конденсатора ёмкостью $C_1 = 2$ *мкФ* и $C_2 = 5$ *мкФ* заряжены до напряжений $U_1 = 100$ *В* и $U_2 = 150$ *В* соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими разноимённые заряды.

Задача № 8

В проводнике за время $t = 10$ *с* при равномерном возрастании силы тока от $I_1 = 1$ *А* до $I_2 = 2$ *А* выделилось количество теплоты $Q = 5$ *кДж*. Найти сопротивление R проводника.

Вариант № 5

Задача № 1

Электрический изолированный металлический лист площадью $S = 2$ *м*^{2} расположен параллельно металлической плите на расстоянии *0,1 см*. При каком электрическом заряде, сообщённом листу, возможно появление электрической искры и пожара? Считать, что в данных условиях электрический пробой возникает при напряжённости электрического поля $E_0 = 15$ *кВ/см*.

Задача № 2

Электрическая цепь состоит из источника постоянного тока с ЭДС $E = 10$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 40$ *Ом*, который подключён к трём последовательно включённым сопротивлениям $R_1 = 10$ *Ом*, $R_2 = 20$ *Ом*, $R_3 = 30$ *Ом*. Наибольшая допустимая мощность, которая может выделиться на сопротивлении R_1, $P_0 = 0,2$ *Вт*. Определить мощность P_1, выделяющуюся на сопротивлении R_1 в данной схеме. Будет ли тепловой режим сопротивления R_1 нормальным? Может ли замыкание проводником сопротивлений R_2 и R_3 привести к перегреву сопротивления R_1 и возникновению пожара?

Задача № 3

На расстоянии *1 м* от человека на землю в результате аварии упал электрический провод. В точке заземления потенциал $\varphi_0 = 1000$ *В*. Он уменьшается с увеличением расстояния от точки заземления r, выраженного в метрах по закону $\varphi = \varphi_0/(1 + r)$. Сопротивление человека $R = 50$ *кОм,* считать, что допустимый ток через него $I_0 = 2$ *мА*. На каком расстоянии при движении от провода человек должен поставить одну ногу относительно другой, чтобы электрический ток, проходящий через него, был равен допустимому (рис.).

Задача № 4

Длительное пропускание тока $I_1 = 1,6$ *А* через проволоку приводит к её нагреву до температуры $t_1 = 65$ *°С*, при токе $I_2 = 2,8$ *А* имеет место нагрев до температуры $t_2 = 160$ *°С.* Теплоотдача с единицы поверхности пропорциональна разности температур проволоки и воздуха. Зависимость сопротивления проволоки от температуры не учитывать. Определить температуру проволоки, если через неё длительноё время пропускать ток $I_3 = 5,5$ *А.* Есть ли при этом опасность пожара, если она появляется при температуре проволоки $t_n = 290$ *°С*?

Задача № 5

Диполь с электрическим моментом $p = 100$ *пКл·м* свободно установился в свободном электрическом поле напряжённостью $E = 200$ *кВ/м.* Определить работу внешних сил, которую необходимо совершить для поворота диполя на угол $\alpha = 180°$.

Задача № 6

Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрёл скорость $v = 10^5$ *м/с*. Расстояние между пластинами $d = 8$

мм. Найти: 1) разность потенциалов U между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

Задача № 7

Два одинаковых плоских воздушных конденсатора ёмкостью $C = 100$ $nФ$ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, на сколько изменится ёмкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.

Задача № 8

Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 sin\omega t$. Найти заряд Q, проходящий через поперечное сечение проводника за время t, равное половине периода T, если начальная сила тока $I_0 = 10\ A$, циклическая частота $\omega = 50\pi c^{-1}$.

Вариант № 6

Задача № 1

Лента движущегося транспортёра в результате аварии имеет электрический контакт с защитным изолированным металлическим кожухом сферической формы радиусом $R = 2\ м.$ С противоположной стороны транспортёрная линия имеет контакт с источником тока. Электрический пробой в воздухе возникает при напряжённости электрического поля $E_0 = 20$ $кВ/см$. Определить максимальный потенциал кожуха.

Задача № 2

При проведении аварийно – спасательных работ необходимо определить место повреждения двухпроводной телефонной линии (замыкание проводников друг с другом). Для этого на вход линий подключили аккумулятор с ЭДС $E = 24\ B$. Ток, проходящий через него, $I = 12\ A$, сопротивление аккумулятора не учитывать, сопротивление единицы длины проводы $\rho = 10^{-3}\ Ом/м$. Найти длину провода до места повреждения.

Задача № 3

Около человека с коровой в результате аварии упал электрический провод. Потенциал точки заземления $\varphi_0 = 380\ B$. Он уменьшается в зависимости от расстояния от точки заземления по закону $\varphi = \varphi_0/(1 + r)$. Человек и корова находятся на расстоянии $r_1 = 1\ м.$ от провода. Определить, какой ток пойдёт через корову и человека, если они пойдут от провода, как показано на рис. ____ ? Есть ли опасность для их жизней? Считать, что корову поражает ток $I_к$ = 0,3 А. Сопротивление человека R_1 = 40 кОм, сопротивление коровы $R_2 = 200$ *Ом.*

Задача № 4

ЭДС батареи $\varepsilon = 24$ *В*. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{max} = 10$ *А*. Определить максимальную мощность P_{max}, которая может выделятся во внешней цепи.

Задача № 5

Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала $\varphi = 10$ *В*, сливаются в одну. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?

Задача № 6

Пылинка массой $m = 5$*нг*, несущая на себе $N = 10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ *МВ*. Какова кинетическая энергия T пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?

Задача № 7

Два конденсатора емкостями $C_1 = 5$ *мкФ* и $C_2 = 8$ *мкФ* соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $\varepsilon = 80$ *В*. Определить заряды Q_1 и Q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

Задача № 8

За время $t = 10$ *с* при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике выделилось количество теплоты $Q = 40$ *кДж*. Определить среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике, если его сопротивление $R = 25$ *Ом*.

Вариант № 7

Задача № 1

На плоскости воздушного конденсатора с толщиной воздушного слоя *1 см* подаётся напряжение *40 кВ*. Возможен ли электрический пробой и возникновение пожара, если предельная напряжённость электрического поля воздуха в данных условиях равна $2 \cdot 10^6$ *В/м?*

Задача № 2

В технологической установке источник имеет ЭДС $E = 100$ *В* и внутреннее сопротивление $r = 20$ *Ом*. Он подключён к двум сопротивлениям $R_1 = 20$ *Ом* и $R_2 = 60$ *Ом*. Параллельно каждому сопротивлению подключены воздушные конденсаторы C_1 и C_2, расстояния между пластинами которых соответственно $d_1 = 0{,}2$ *мм* и $d_2 = 0{,}3$ *мм*. Наименьшая напряжённость электрического поля в воздухе, при которой может быть электрический пробой, $E_0 = 15$ *кВ/см*. Определить напряжённость электрических полей в этих конденсаторах. Есть ли опасность возникновения пробоя и пожара?

Задача № 3

Струя воды при тушении пожара на промышленном объекте попадает на электрический контакт с напряжением $U = 2 \cdot 10^3$ *В*. Сопротивление струи воды $R_{ст} = 500$ *Ом*, сопротивление человека $R_{чел} = 4500$ *Ом*, сопротивление контакта человека с землёй $R_0 = 5000$ *Ом*. Определить ток, который пройдёт через человека. Оценить опасность.

Задача № 4

От батареи, ЭДС которой $\varepsilon = 600$ *В*, требуется передать энергию на расстояние $l = 1$ *км*. Потребляемая мощность $P = 5$ *кВт*. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов $d = 0{,}5$ *см*.

Задача № 5

Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10$ *см*. Он равномерно заряжен с линейной скоростью заряда $\tau = 800$ *нКл/м*. Определить потенциал φ в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $h = 10$ *см* от его центра.

Задача № 6

Какой минимальной скоростью v_{min} должен обладать протон, чтобы он мог достигнуть поверхности заряженного до потенциала $\varphi = 400$ *В*, металлического шара (рис.)?

Задача № 7

Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R = 10$ *см* каждая. Расстояние между пластинами $d = 2$ *мм*. Конденсатор присоединён к источнику напряжения $U = 80$ *В*. Определить заряд Q и напряжённость E поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик – воздух; б) диэлектрик – стекло.

Задача № 8

За время $t = 8$ *с* при равномерно возраставшей силе тока в проводнике сопротивлением $R = 8$ *Ом* выделилось количество теплоты $Q = 500$ *кДж*.

Определить заряд q, проходящий в проводнике, если сила тока в начальный момент времени равна нулю.

Вариант № 8

Задача № 1

При подаче воды автоматической системой тушения пожара происходит электризация капель. Найти потенциал капли вода при слиянии трёх одинаковых капель радиусом *1мм* с зарядом по *10 Кл* во время полёта в воздухе. Считать, что большая капля имеет сферическую форму.

Задача № 2

В технологической установке источник с ЭДС $E = 10^3$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 100$ *Ом* подключён к двум последовательно соединённым сопротивлениям $R_1 = 100$ *Ом* и $R_2 = 800$ *Ом*. Параллельно к сопротивлению R_1 подключён воздушный плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $d = 0{,}1$ *мм.* Наименьшая напряжённость электрического поля, при которой в воздухе возникает электрический пробой (искра), $E_0 = 10^6$ *В/м*. Есть ли опасность возникновения пожара?

Задача № 3

При тушении пожара струя воды попадает на электрический провод без изоляции с напряжением $U = 220$ *В.* Определить электрический ток, который пройдёт через человека, тушащего пожар, если сопротивление струи воды $R_{ст} = 200$ *Ом*, сопротивление человека $R_{чел} = 1500$ *Ом.* Рассмотреть два случая:

а) сопротивление контакта между человеком и землёй $R_0 = 3300$ *Ом*;

б) $R_0 = 300$ *Ом* (мокрая обувь).

Оценить опасность.

Задача № 4

При внешнем сопротивлении $R_1 = 8$ *Ом* сила тока в цепи $I_1 = 0{,}8$ *А,* при сопротивлении $R_2 = 15$ *Ом* сила тока $I_2 = 0{,}5$ *А*. Определить силу тока $I_{к.з.}$ короткого замыкания источника ЭДС.

Задача № 5

Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau = 20$ *пКл/м.* Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8$ *см* и $r_2 = 12$ *см.*

Задача № 6

В однородное электрическое поле напряжённостью $E = 200$ *В/м* влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $v_0 = 2$ *Мм/с*. Определить расстояние l, которое пройдёт электрон до точки, в которой его скорость будет равна половине начальной.

Задача № 7

Два металлических шарика радиусами $R_1 = 5$ *см* и $R_2 = 10$ *см* имеют заряды $Q_1 = 40$ *нКл* и $Q_2 = -20$ *нКл* соответственно. Найти энергию W, которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

Задача № 8

Определить количество теплоты Q, выделившееся за время $t = 10$ *с* в проводнике сопротивлением $R = 10$ *Ом*, если сила тока в нём, равномерно уменьшаясь, изменилась от $I_1 = 10$ *А* до $I_2 = 0$.

Вариант № 9

Задача № 1

В плоском воздушном конденсаторе электроёмкостью $C = 10^{-12}$ *Ф* при увеличении на нём напряжения до $U = 3 \cdot 10^3$ Возникает пробой (искра). Определить энергию искры, считая её равной энергии заряженного конденсатора. В воздухе присутствует газовоздушная взрывоопасная смесь с минимальной энергией воспламенения $W_{восп} = 5 \cdot 10^{-4}$ *Дж*. Выполняются ли в этом случае условия пожарной безопасности от статического электричества $(W_{иск} < 0{,}4W_{восп})$? Есть ли опасность взрыва и пожара?

Задача № 2

При ремонте электрической цепи технологической установки, состоящей из источника тока с ЭДС $E = 10$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 4$ *Ом*, который подключён к двум параллельным сопротивлениям $R_1 = 30$ *Ом* и $R_2 = 70$ *Ом*, было заменено повреждённое сопротивление R_1 на сопротивление такой же величины. Наибольшая мощность, которая может на нём выделиться, $P_0 = 0{,}2$ *Вт*. Определить мощность, которая будет выделяться на этом сопротивлении, сравнить её с наибольшей допустимой величиной. Оценить опасность пожара.

Задача № 3

При сварочных работах используется напряжение $U = 65$ *В*. Какой электрический ток пойдёт через человека с сопротивлением $R = 6{,}5$ *кОм*, если это напряжение будет к нему приложено? Есть ли опасность для человека?

Задача № 4

При включении электромотора в сеть с напряжением $U = 220\ В$ он потребляет ток $I = 5\ А$. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление R обмотки мотора равно $6\ Ом$.

Задача № 5

Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда $\tau = 200\ пКл/м$. Определить потенциал φ поля в точке пересечения диагоналей.

Задача № 6

Электрическое поле создано бесконечной заряженной прямой линией с равномерно распределённым зарядом ($\tau = 10\ нКл/м$). Определить кинетическую энергию T_2 электрона в точке *2*, если в точке *1* его кинетическая энергия $T_1 = 200\ эВ$. Расстояние точки *2* от линии равно $a = 0,5\ см$, точки *1* – *1,5 см.*

Задача № 7

Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла толщиной $d_1 = 0,2\ см$ и слоем парафина толщиной $d_2 = 0,3\ см$. Разность потенциалов между обкладками $U = 300\ В$. Определить напряжённость E поля и падение потенциала в каждом из слоёв.

Задача № 8

Сила тока в цепи изменяется по закону $I = I_0 \sin\omega t$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 10\ Ом$ за время, равное четверти периода (от $t_1 = 0$ до $t_2 = T/4$, где $T = 10\ с$).

Вариант № 10

Задача № 1

Определить наименьшее напряжение на обкладках воздушного конденсатора, при котором возможен электрический пробой (искра), если он происходит при напряжённости поля $E_0 = 30\ кВ/см$, расстояние между параллельными пластинами $d = 0,2\ см$. Определить при этих условиях энергию искры $W_{иск}$, считая её равной энергии напряжённого конденсатора, если площадь его пластин $S = 1,1\ м^2$. Считать, что минимальная энергия воспламенения присутствующей в воздухе пылевоздушной взрывоопасной смеси $W_{восп} = 5 \cdot 10^{-3}$ *Дж*. Выполняется ли в этом случае условие пожарной безопасности от статического электричества ($W_{иск} < W_{восп}$)?

Задача № 2

Сопротивление заземляющего устройства для электрической установки R_0 должно быть *5 Ом*. При проверке было обнаружено, что заземление имеет сопротивление $R = 8$ *Ом*. Определить сопротивление добавочного заземления, которое необходимо подключить, чтобы выполнить необходимые требования.

Задача № 3

При расследовании причин аварии технологической установки необходимо выяснить, могли ли сопротивления $R_1 = 10$ *Ом* и $R_2 = 90$ *Ом* при их параллельном подключении к источнику тока с ЭДС $E = 12$ *В* и внутренним сопротивлением $r = 1$ *Ом* перегреться и привести к пожару? Наибольшая мощность, которая может выделяться на сопротивлении R_1, $P_{01} = 0{,}1$ *Вт*, а на сопротивлении R_2, $P_{02} = 2$ *Вт*.

Задача № 4

ЭДС батареи $\varepsilon = 12$ *В*. При силе тока $I = 4$ *А* КПД батареи $\eta = 0{,}6$. Определить внутренне сопротивление R_1 батареи.

Задача № 5

Тонкий стержень длиной $l = 20$ *см* несёт равномерно распределённый заряд $\tau = 0{,}1$ *мкКл*. Определить напряжённость и потенциал электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке *А*, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 20$ *см* от его конца.

Задача № 6

Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 100$ *В* электрон имел скорость $V_1 = 6$ *Мм/с*. Определить потенциал φ_2 точки поля, дойдя до которой электрон потеряет половину своей скорости.

Задача № 7

Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 200$ *см*^{2} каждая заряжен до разности потенциалов $U = 2$ *кВ*. Расстояние между пластинами $d = 2$ *см*. Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и плотность энергии ω поля.

Задача № 8

Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha l}$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 20\ Ом$ за время, в течение которого ток уменьшится в e раз. Коэффициент α принять равным $2{\cdot}10^{-2}\ c^{-1}$.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Выписка из рабочей программы

1. Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле. Закон Ампера для элемента тока. Магнитная индукция. Закон Ампера для витка с током.
2. Закон Био-Савара-Лапласа для элемента тока. Применение закона Био-Савара-Лапласа к расчёту магнитного поля прямолинейного и кругового токов.
3. Циркуляция вектора магнитной индукции. Магнитное поле соленоида и тороида.
4. Магнитный поток. Работа перемещения проводника с током и контура с током в магнитном поле.
5. Магнитное поле движущегося заряда. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла.
6. Магнитные моменты электронов и атомов. Диа- и парамагнетизм. Намагниченность. Напряжённость магнитного поля. Магнитное поле в веществе. Закон полного тока.
7. Ферромагнетики и их свойства. Природа ферромагнетизма.
8. Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея). Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции Фарадея-Ленца.
9. Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции.
10. Энергия магнитного поля соленоида. Плотность энергии магнитного поля.
11. Переменный ток. Индуктивность и ёмкость в цепи переменного тока. Мощность переменного тока.
12. Колебательный контур. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний в контуре. Формула Томсона. Волновое сопротивление колебательного контура.
13. Дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний. Добротность контура.
14. Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний. Резонанс токов.
15. Система уравнений Максвелла в интегральной форме и их физический смысл.
16. Электромагнитные волны. Плоская электромагнитная волна. Скорость распространения электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойтинга.

Основные определения и формулы

Магнитная индукция – векторная величина, модуль которой определяется отношением максимальной силы $F_{\max}$, действующей со стороны магнитного поля на участок проводника с током, к силе этого тока I и длине участка Δl проводника.

$$B = \frac{F_{\max}}{I\Delta l}$$

Механический момент сил, действующий на плоский контур с током, помещённый в однородной магнитное поле.

$$M = \left[\vec{p}_m \vec{B}\right]$$

или

$$M = p_m B \, sin \, \alpha$$

[$\overrightarrow{p_m}$ – магнитный момент рамки с током, $\vec{B}$ – магнитная индукция, α – угол между нормалью к плоскости контура и вектором B].

Магнитный момент, действующий на плоский контур с током I.

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}$$

или

$$p_m = IS$$

[S – площадь поверхности контура (рамки), $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности рамки].

Направление магнитного момента совпадает с направлением нормали к контуру (а направление $\vec{n}$ определяется правилом правого винта).

Закон Ампера.

$$F = IB\Delta l \sin\alpha$$

или

$$d\vec{F} = I\left[d\vec{l}, \vec{B}\right], \qquad dF = IBdl \sin\alpha$$

[F (dF) – сила Ампера, действующая на участок проводника Δl (элемент длины dl проводника) с током I, помещённый в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$; α – угол между направлением отрезка проводника с током и магнитной индукцией $\vec{B}$].

Направление силы Ампера определяется **правилом левой руки:** если ладонь левой руки расположить так, чтобы в неё входил вектор $\vec{B}$, а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.

Единица магнитной индукции – тесла (Тл).

1 Тл = 1Н/(А·м)

Магнитная индукция $\vec{B}$ в случае однородной изотропной среды.

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

[μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды; $\vec{H}$ – напряжённость магнитного поля].

Магнитная постоянная.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{Н/А}^2 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м}$$

Единица напряжённости магнитного поля – ампер на метр (А/м).

Закон Био-Савара-Лапласа.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I\left[d\vec{l}, \vec{r}\right]}{r^3}, \qquad dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$$

[d$\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемая элементом длины dl проводника с током I; $\vec{r}$ – радиус – вектор, проведённый от dl к точке, в которой определяется магнитная; α – угол между векторами d$\vec{l}$ и $\vec{r}$].

Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током *I*.

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I}{R}$$

[R – расстояние от оси проводника].

Магнитная индукция в центре кругового проводника с током.

[R – радиус кривизны проводника].

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

Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей: магнитная индукция результирующего поля, создаваемого несколькими токами или

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \ldots + \vec{B}_n, \qquad \vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$$

движущимися зарядами, равна векторной сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждым током или движущимся зарядом в отдельности.

Сила взаимодействия двух прямых бесконечных прямолинейных параллельных проводников с токами I_1 и I_2.

$$dF = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{R} dl$$

[R – расстояние между проводниками, dl – отрезок проводника].

Магнитная индукция поля, создаваемого точечным зарядом *Q*, свободно движущимся с нерелятивистской скоростью $\vec{\upsilon}$.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Q\left[\vec{\upsilon}\vec{r}\right]}{r^3} \qquad \vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Q\upsilon}{r^2} \sin \alpha$$

[$\vec{r}$ – радиус-вектор, проведённый от заряда к точке наблюдения; α – угол между векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{r}$].

Сила Лоренца – сила, действующая на электрический заряд Q, движущийся в магнитном поле со скоростью $\vec{\upsilon}$.

$$\vec{F} = Q[\vec{\upsilon}\vec{B}], \qquad F_л = Q\upsilon B \sin\alpha$$

[$\vec{B}$ – индукция магнитного поля, в котором заряд движется; α – угол между $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$].

Радиус окружности, по которой со скоростью $\vec{\upsilon}$, перпендикулярной $\vec{B}$, движется в магнитном поле заряженная частица.

$$r = \frac{m\upsilon}{QB}$$

Период вращения частицы – время T, затрачиваемое ею на один полный оборот.

$$T = \frac{2\pi}{B} \cdot \frac{m}{Q}$$

Формула Лоренца определяет результирующую силу, действующую на движущийся заряд Q со стороны электрического поля напряжённостью $\vec{E}$ и магнитного поля индукцией $\vec{B}$.

$$\vec{F} = Q\vec{E} + Q[\vec{\upsilon}\vec{B}]$$

Эффект Холла – возникновение в проводнике (или полупроводнике) с током плотностью $\vec{j}$, помещённом в магнитное поле $\vec{B}$, электрического поля с напряжённостью, перпендикулярной $\vec{B}$ и $\vec{j}$.

Холловская поперечная разность потенциалов.

$$\Delta\varphi = R\frac{IB}{d}$$

[B – магнитная индукция; I – сила тока; d – толщина пластинки; R – постоянная Холла].

Постоянная Холла.

$$R = \frac{1}{en}$$

[n – концентрация электронов].

Циркуляция вектора магнитной индукции по замкнутому контуру.

$$\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \oint_L B_l dl$$

[$d\vec{l}$ – элемент длины контура, направленный вдоль обхода контура, $B_l = B\cos\alpha$ - составляющая вектора $\vec{B}$ в направлении касательной к контуру (с учётом выбранного направления обхода), α - угол между векторами $\vec{B}$ и $d\vec{l}$].

Закон полного тока для магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$): циркуляция вектора $\vec{B}$ по произвольному замк-

$$\oint_L \vec{B}dl = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^{n} I_k$$

нутому контуру равна произведению магнитной постоянной μ_0 на алгебраическую сумму токов, охватываемых этим контуром.

[μ_0 – магнитная постоянная; $\sum_{k=1}^{n} I_k$ - алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром].

Магнитная индукция поля внутри соленоида (в вакууме).

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

[l – длина соленоида, N – число витков соленоида].

Магнитная индукция поля внутри тороида (в вакууме).

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) сквозь площадку d*S*.

$$d\Phi_B = \vec{B}d\vec{S} = B_n dS$$

[d$\vec{S}$ - = d$S \cdot \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке; Bn – проекция вектора $\vec{B}$ на направление нормали к площадке].

Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную поверхность *S*.

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B}\, d\vec{S} = \oint_S B_n dS$$

Теорема Гаусса для поля $\vec{B}$: поток вектора магнитной индукции сквозь любую замкнутую поверхность равен нулю.

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0$$

Потокосцепление – полный магнитный поток, сцеплённый со всеми витками соленоида.

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

$$dA = Id\Phi$$

[dΦ – магнитный поток, пересечённый движущимся проводником]

Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле.

$$dA = I\, d\Phi'$$

$$A = I\,(\Phi_2 - \Phi_1)$$

[dΦ' - изменение магнитного потока, сцеплённого с контуром].

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром.

$$\xi_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \textit{или} \quad \xi_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

ЭДС ξ_i не зависит от способа изменения магнитного потока.

Правило Ленца: индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, всегда имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.

ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью S при вращении рамки с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле, индукция которого B

$$\xi_i = BS\,\omega \sin \omega t$$

[ωt – мгновенное значение угла между вектором $\vec{B}$ и вектором нормали $\vec{n}$ к плоскости рамки].

Магнитный поток, создаваемый током *I* в контуре.

$$\Phi = LI$$

[L – индуктивность контура].

Самоиндукция – возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нём силы тока.

ЭДС самоиндукции.

$$\xi_S = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \textit{или} \qquad \xi_S = -L\frac{dI}{dt}$$

[считается, что магнитная проницаемость постоянна и контур не деформируется – в данном случае индуктивность L не зависит от тока].

Индуктивность соленоида (тороида).

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l}$$

[N – число витков соленоида; l – его длина].

Ток при размыкании и при замыкании цепи.

$$I_{\text{р}} = I_0\, \mathrm{e}^{-t/\tau}$$
$$I_{\text{з}} = I_0\, (1\text{-}\ \mathrm{e}^{-t/\tau})$$

[τ – время релаксации, I_0 – предельное значение тока].

Время релаксации.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

[L – индуктивность катушки; R - сопротивление].

Взаимная индукция – возникновение индукции э.д.с. в одном из контуров при изменении силы тока в другом.

ЭДС взаимной индукции (ЭДС, индуцируемая изменением силы тока в соседнем контуре).

$$\xi = -L_{12}\frac{dI}{dt}$$

[L_{12} – взаимная индуктивность контуров].

Взаимная индуктивность двух катушек (с числом витков N_1 и N_2) на общем тороидальном сердечнике.

$$L_{12} = L_{21} = \mu_0 \mu \frac{N_1 N_2}{l} S$$

[μ – магнитная проницаемость сердечника; l – длина сердечника по средней линии; S – площадь поперечного сечения сердечника].

Энергия магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью L, по которому течёт ток, сила которого I.

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

Объёмная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида.

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}$$

Орбитальный магнитный момент электрона.

$$\vec{p} = -g\vec{L}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L}_l$$

[g – гиромагнитное отношение орбитальных моментов, L_l – орбитальный механический момент электрона].

Гиромагнитное отношение орбитальных моментов

$$g = -\frac{e}{2m}$$

Собственный (спиновый) магнитный момент импульса электрона.

$$\vec{p}_{MS} = g_S \vec{L}_{lS}$$

[g – гиромагнитное отношение спиновых моментов, L_{ls} – собственный механический момент].

Магнетон Бора – единица магнитного момента электрона.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

Намагниченность – физическая величина, определяемая отношением магнитного момента магнетика к его объёму.

$$\vec{J} = \frac{\vec{p}_m}{V} = \sum \frac{\vec{p}_a}{V}$$

[$\overrightarrow{p_m} = \sum \overrightarrow{p_a}$ - магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул].

Связь намагниченности и напряжённости магнитного поля, вызывающего намагничивание.

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

[χ - магнитная восприимчивость вещества, $\vec{H}$ – напряжённость магнитного поля].

Формула, выражающая связь между векторами $\vec{B}$, $\vec{H}$, $\vec{J}$.

$$\vec{B} = \mu_0\left(\vec{H} + \vec{J}\right)$$

[μ_0 – магнитная постоянная].

Формула, связывающая магнитную проницаемость μ и магнитную восприимчивость χ вещества.

$$\mu = 1 + \chi$$

Закон полного тока для магнитного поля в веществе (теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$): циркуляция вектора $\vec{B}$ по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов проводимости и молекулярных токов, охватываемых этим контуром, умноженной на магнитную постоянную.

$$\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0\left(I + I'\right)$$

[$d\vec{l}$ - элемент длины контура, направленный вдоль обхода контура; B_l – составляющая вектора $\vec{B}$ в направлении касательной контура L произвольной формы; I и I' – соответственно алгебраические суммы макротоков (токов проводимости) и микротоков (молекулярных токов), охватываемых заданным контуром].

Теорема о циркуляции вектора напряжённости магнитного поля: циркуляция вектора $\vec{H}$ по произвольному замкнутому контуру L равна алгебраической сумме токов проводимости, охватываемых этим контуром.

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = I$$

Условия на границе раздела двух магнетиков при отсутствии на границе токов проводимости.

$$H_{1\tau} = H_{2\tau}, \qquad \frac{B_{1\tau}}{B_{2\tau}} = \frac{\mu_1}{\mu_2},$$

$$B_{1n} = B_{2n}, \qquad \frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

[H_τ, B_τ и H_n, B_n – соответственно тангенциальные и нормальные составляющие векторов $\vec{H}$ и $\vec{B}$, μ_1 и μ_2 – магнитные проницаемости].

Плотность тока смещения.

$$\vec{J}_{см} = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial\vec{P}}{\partial t}$$

[$\vec{D}$ - электрическое смещение; $\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ - плотность тока смещения в вакууме; $\frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ - плотность тока поляризации].

Полная система уравнений Максвелла в интегральной форме:

$$\oint_L \vec{E}d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}, \qquad \oint_S \vec{D}d\vec{S} = \int_V \rho dV,$$

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}, \qquad \oint_S \vec{H}d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S},$$

Величины, входящие в уравнения Максвелла, не являются независимыми, и между ними существует следующая связь (изотропные не сегнетоэлектрические и не ферромагнитные среды).

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}, \qquad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}, \qquad \vec{j} = \gamma \vec{E}$$

[ε_0 и μ_0 – соответственно электрическая и магнитная постоянные, ε и μ - соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости, γ - удельная проводимость вещества].

Из уравнений вытекает, что источниками электрического поля могут быть либо электрические заряды, либо изменяющиеся во времени магнитные поля, а магнитные поля могут возбуждаться либо движущимися электрическими зарядами (электрическими токами), либо переменными электрическими полями.

Уравнения Максвелла для стационарных полей (E = const и B = const).

$$\oint_L \vec{E}d\vec{l} = 0, \qquad \oint_S \vec{D}d\vec{S} = Q, \qquad \oint_L \vec{H}d\vec{l} = I, \qquad \oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Источниками электрического поля в данном случае являются только электрические заряды, источниками магнитного – только токи проводимости. В данном случае электрические и магнитные поля независимы друг от друга, что и позволяет изучать отдельно постоянные электрическое и магнитное поля.

Уравнение гармонических колебаний величины *S*.

$$S = A\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad \text{или} \quad S = A\sin(\omega_0 t + \varphi)$$

[A – амплитуда колебаний (максимальное значение колеблющейся величины), ω_0 - круговая (циклическая) частота, φ – начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$, $(\omega_0 t + \varphi)$ – фаза колебаний в момент времени t].

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний.

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \omega_0^2 s = 0$$

Период гармонического колебания – промежуток времени T, в течении которого фаза колебания получает приращение 2π, т.е. $\omega_0(t + T) + \varphi = (\omega_0 t + \varphi) + 2\pi$.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Частота колебаний – число полных колебаний, совершаемых в единицу времени.

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Единица частоты – герц (гц).

Смещение колеблющейся точки.

$$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Скорость колеблющейся точки.

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Ускорение колеблющейся точки.

$$a = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi)$$

Сила, действующая на колеблющуюся материальную точку массой *m*.

$$F = -m\omega_0^2 x$$

Кинетическая энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания.

$$E_K = \frac{mv^2}{2}\frac{mA^2\omega_0^2}{2}\sin^2(\omega_0 t + \varphi) = \frac{mA^2\omega_0^2}{4}[1 - \cos 2(\omega_0 t + \varphi)]$$

Потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания под действием упругой силы F.

$$E_n = -\int_0^x F dx = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{4}[1 + \cos 2(\omega_0 t + \varphi)]$$

Полная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания.

$$E = E_K + E_n = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}$$

Гармонический осциллятор – система, совершающая колебания, описываемые уравнением.

$$s + \omega_0^2 s = 0$$

Пружинный маятник – груз массой *m,* подвешенный на абсолютно упругой пружине и совершающий гармонические колебания под действием упругой силы.

$$F = -kx$$

[k – жёсткость пружины].

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний пружинного маятника и его решение.

$$mx = -kx \text{ или } x + \omega_0^2 x = 0, \;\; x = A\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Период колебаний пружинного маятника.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

[m – масса пружинного маятника; k – жёсткость пружины].

Физический маятник – твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси подвеса, не проходящей через центр масс C тела.

Период колебаний физического маятника.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

[J – момент инерции маятника относительно оси колебаний; l – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника; L – приведённая длина физического маятника; g – ускорение свободного падения].

Приведённая длина физического маятника – длина такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом колебаний данного физического маятника.

$$L = \frac{J}{ml}$$

Период колебаний математического маятника.

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

[l – длина маятника].

Колебательный контур – цепь, состоящая из включённых последовательно катушки индуктивностью *L,* конденсатора ёмкостью C и резистора сопротивлением R, и используемая для возбуждения и поддержания электромагнитных колебаний.

Полная электромагнитная энергия контура в любой момент времени.

$$E = \frac{Q^2}{2C} = \frac{LI^2}{2}$$

[Q – заряд на обкладках конденсатора, I – сила тока в контуре].

Эта энергия не изменяется в случае $R \approx 0$.

Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний заряда в контуре и его решение.

$$Q + \frac{1}{LC} Q = 0, \qquad Q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

[Q_m – амплитуда колебаний заряда; $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ - собственная частота контура].

Формула Томсона, устанавливающая связь между периодом T собственных колебаний в контуре без активного сопротивления, индуктивностью L и ёмкостью C контура.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Затухающие колебания – колебания, амплитуда которых уменьшается со временем.

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний линейной системы и его решение.

$$\frac{d^2 s}{dr^2} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = 0, \qquad s = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

[s – колеблющаяся величина, описывающая физический процесс; δ – коэффициент затухания: $\delta = r/(2m)$ в случае механических колебаний и $\delta = R/(2L)$ в случае электромагнитных колебаний; ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний той же колебательной системы; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ - частота затухающих колебаний; $A_0 e^{-\delta t}$ – амплитуда затухающих колебаний].

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение для установившихся колебаний.

$$\frac{d^2 s}{d^2 r} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = x_0 \cos \omega t, \qquad s = A \cos(\omega t - \varphi)$$

[s – величина, описывающая физический процесс ($x_0 = F_0/m$ – для механических колебаний, $x_0 = U_m/L$ – для электромагнитных)].

Декремент затухания.

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta T}$$

[$A(t)$ и $A(t + T)$ – амплитуда двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период].

Логарифмический декремент затухания.

$$\Theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N}$$

[τ - время релаксации; N – число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в е раз].

Время релаксации – промежуток времени, в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в е раз.

$$\tau = \frac{1}{\delta}$$

Добротность колебательной системы.

$$Q = \frac{\pi}{\Theta} = \frac{\omega_0}{2\delta}$$

Амплитуда вынужденных колебаний.

$$A = \frac{x_0}{\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\delta^2\omega^2}}$$

Сдвиг фаз между колебаниями и вынуждающей силой (приложенных переменным напряжением).

$$\varphi = arctg\frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

Резонансная частота.

$$\omega_{РЕЗ} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$

Резонансная амплитуда.

$$A_{РЕЗ} = \frac{x_0}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$$

Переменный ток, текущий через резистор сопротивлением R.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R}\cos\omega t = I_m\cos\omega t$$

[$I_m = \frac{U_m}{R}$ - амплитудное значение силы тока].

Если напряжение, приложенное к концам участка цепи,$U = U_m \cos \omega t$, то через резистор протекает ток I.

Переменный ток, текущий через катушку индуктивностью *L*. Если напряжение, приложенное к концам участка цепи, $U = U_m \cos \omega t$, то через катушку течёт ток I.

$$I = I_m\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

[$I_m = \frac{U_m}{(\omega L)}$ - амплитудное значение силы тока].

Реактивное индуктивное сопротивление (индуктивное сопротивление).

$$R_L = \omega L$$

Падение напряжения на катушке индуктивности.

$$U_L = \omega L I_m \cos \omega t$$

Переменный ток, текущий через конденсатор ёмкостью *C*.

$$I = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

[$I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{[1/(\omega C)]}$ - амплитудное значение силы тока].

Если напряжение, приложенное к концам участка цепи, $U = U_m \cos \omega t$, то сила тока равна I.

Реактивное ёмкостное сопротивление (ёмкостное сопротивление).

$$R_C = \frac{1}{\omega C}$$

Падение напряжения на конденсаторе.

$$U_C = \frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t$$

Падение напряжения U_C отстаёт по фазе от текущего через конденсатор тока I на $\pi/2$.

Переменный ток, текущий через последовательно включённые резистор, катушку индуктивности и конденсатор.

Напряжение, приложенное к концам участка цепи.

$$U = U_m \cos \omega t$$

Сдвиг фаз между напряжением и силой тока.

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

Полное сопротивление Z цепи переменного тока, содержащей последовательно включённые резистор сопротивлением R, катушку индуктивностью L и конденсатор ёмкостью C, на концы которой подаётся переменное напряжение $U = U_m \cos \omega t$.

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

[R_L – реактивное индуктивное сопротивление; R_C - реактивное ёмкостное сопротивление].

Действующие (эффективные) значения силы тока и напряжения.

$$I = I_m / \sqrt{2}, \qquad U = U_m / \sqrt{2}$$

[I_m и U_m – амплитудные значения силы тока и напряжения].

Средняя мощность, выделяемая в цепи переменного тока.

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\varphi$$

[cos φ - коэффициент мощности].

Коэффициент мощности.

$$\cos\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}}$$

Коэффициент трансформации – отношение числа витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, показывающее, во сколько раз ЭДС во вторичной обмотке трансформатора больше (или меньше), чем в первичной.

$$\kappa = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\xi_1}{\xi_2}$$

При $k > 1$ трансформатор – понижающий, при $k < 1$ – повышающий.

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x.

$$\xi(x, t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\upsilon T} = \frac{\omega}{\upsilon}$$

[$\xi(x, t)$ – смещение точек среды с координатой x в момент времени t; A – амплитуда волны; ω – циклическая (круговая) частота; k – волновое число, λ – длина волны; υ – фазовая скорость (скорость перемещения фазы волны); T – период колебаний; φ_0 – начальная фаза колебаний].

Разность фаз.

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta$$

[λ – длина волны, Δ – разность хода].

Условия максимума амплитуды при интерференции волн.

$$\Delta_{MAX} = \pm 2m\frac{\lambda}{2}, \qquad (m = 0,1,2,\ldots)$$

Условия минимума при интерференции волн.

$$\Delta_{MIN} = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad (m = 0,1,2,\ldots)$$

Волновой пакет – суперпозиция волн, мало отличающихся друг от друга по частоте, занимающая в каждый момент времени ограниченную область пространства.

Фазовая скорость – физическая величина, численно равная расстоянию, которое за 1 с. проходит любая точка волновой поверхности.

$$\upsilon = \frac{\omega}{\kappa}$$

Групповая скорость – скорость движения группы волн, образующих в каждый данный момент времени локализованный в пространстве волновой пакет, или скорость движения центра волнового пакета.

$$u = \frac{d\omega}{dk}$$

Формула, связывающая групповую и фазовую скорости.

$$u = \upsilon - \lambda \frac{d\upsilon}{d\lambda}$$

Электромагнитные волны – переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью. Электромагнитные волны возникают ввиду того, что переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле, которое, в свою очередь порождает переменное электрическое поле.

Электромагнитные волны в вакууме распространяются со скоростью света независимо от частоты колебаний.

Волновое уравнение, которому удовлетворяют векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$ переменного электромагнитного поля в случае однородной и изотропной среды вдали от зарядов и токов.

$$\overrightarrow{\Delta E} = \frac{1}{\upsilon^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad ; \qquad \overrightarrow{\Delta H} = \frac{1}{\upsilon^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

[Δ – оператор Лапласа, υ – фазовая скорость].

Фазовая скорость электромагнитных волн в среде.

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

[$c = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ - скорость распространения света в вакууме; ε_0 и μ_0 – соответственно электрическая и магнитная постоянные; ε и μ - соответственно электрическая и магнитная проницаемости среды].

Мгновенные значения напряжённостей электрического и магнитного полей электромагнитной волны.

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H$$

Уравнения плоской электромагнитной волны.

$$\vec{E} = \vec{E_0} \cos(\omega t - kx + \varphi); \quad \vec{H} = \vec{H_0} \cos(\omega t - kx + \varphi);$$

[$\vec{E_0}$ и $\vec{H_0}$ – соответственно амплитуды напряжённостей электрического и магнитного полей волны; ω – круговая частота; $k = \omega/\upsilon$ – волновое число; φ – начальная фаза колебаний в точках с координатой $x = 0$].

Объёмная плотность энергии электромагнитного поля.

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$$

[E – напряжённость электрического поля волны, H – напряжённость магнитного поля волны, ε_0 и μ_0 – соответственно электрическая и магнитная постоянная, ε и μ – соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемость среды].

Плотность потока электромагнитного излучения – отношение электромагнитной энергии ΔW, проходящей за время Δt через перпендикулярную излучению поверхность площадью S, к произведению площади S на время Δt.

Единица плотности потока излучения – ватт на квадратный метр (Вт/м^2).

Вектор Умова – Пойнтинга.

$$\overrightarrow{S} = \left[\vec{E}\vec{H}\right]$$

Вектор S направлен в сторону распространения электромагнитной волны.

Модуль вектора Умова – Пойнтинга равен энергии, переносимой электромагнитной волной за 1 с. через площадку 1 м^2., перпендикулярную направлению распространения волны.

$$S = \frac{W}{St}$$

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Вариант № 1

Задача № 1

По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми $d = 20$ *см*, текут токи $I1 = 40$ *и А* $I2 = 80$ *А* водном направлении. Определить магнитную индукцию B в точке A, удаленной от первого проводника на $r1 = 12$ *см* и от второго – на $r2 = 16$ *см.*

Задача № 2

В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}2$ *Тл* находится прямой проводник $l = 15$ *см*, по которому течет ток $I = 5$ *А.* На проводник действует сила $F = 0{,}13$ *Н*. Определить угол α между направлениями тока и вектором магнитной индукции.

Задача № 3

Квадратный проводящий контур со стороной $l = 20$ *см* и током $I = 10$ *А* свободно подвешен в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0{,}2$ *Тл.* Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 180° вокруг оси, перпендикулярной направлению магнитного поля.

Задача № 4

Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 0{,}5$ *кВ*, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии $r = 1$ *см* от него. Определить силу, действующую на электрон , если через проводник пропускать ток $I = 10$ *А.*

Задача № 5

В случае эффекта Холла для натриевого проводника при плотности тока j = 150 А/см^2 и магнитной индукции B = 2 Тл напряженность поперечного электрического поля Ев = 0,75 мВ/м. Определить концентрацию электронов проводимости, а также её отношение к концентрации атомов в этом проводнике. Плотность натрия $\rho = 0{,}97$ г/см^3.

Задача № 6

В катушке длиной $L = 0{,}5$ *м,* диаметром $d = 5$ *см* и числом витков $N = 1500$ *ток* равномерно увеличивается на 0,2 А за одну секунду. На катушку надето кольцо из медной проволоки *(*$\rho = 17$ *нОм* $\cdot$ *м)* площадью сечения $Sk = 3$ *мм*^{2}. Определить силу тока в кольце.

Задача № 7

Определить, через сколько времени сила тока замыкания достигает *0,95* предельного значения, если источник тока замыкают на катушку сопротивлением $R = 12$ *Ом* и индуктивностью *0,5 Гн.*

Задача № 8

В цепь колебательного контура, содержащего катушку индуктивностью $L = 0,2$ *Гн* и активным сопротивлением $R = 9,7$ *Ом*, а также конденсатор ёмкостью $C = 40$ *мкФ*, подключено внешнее переменное напряжение с амплитудным значением $Um = 180$ *В* и частотой $\omega = 314$ *рад/с*. Определить: 1) амплитудное значение силы тока Im в цепи; 2) Разность фаз φ между током и внешним напряжением; 3) амплитудное значение напряжения Ulm на катушке; 4) амплитудное значение напряжения Ugm на конденсаторе.

Вариант № 2

Задача № 1

Определить индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной $a = 15$ *см,* если по рамке течет ток $I = 5$ *А*.

Задача № 2

По прямому горизонтально проложенному проводу пропускают ток $I1 = 10$ *А*. Под ним на расстоянии $R = 1,5$ см находится параллельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток $I2 = 1,5$ *А*. Определить, каково должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакрепленным. Плотностью алюминия $\rho = 2,7$ *г/см³*.

Задача № 3

Поток магнитной индукции через площадь поперечного сечения соленоида (без сердечника) равен $\Phi = 1$ *мкВб*. Длина соленоида $I = 12,5$ *см.* Определить магнитный момент pm этого соленоида.

Задача № 4

Протон, ускоренный разностью потенциалов $U = 0,5$ *кВ,* влетая в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 2$ *мТл*, движется по окружности. Определить радиус этой окружности.

Задача № 5

Определить постоянную Холла для натрия, если для него отношение концентрации электронов проводимости к концентрации атомов составляет *0,984*. Плотность натрия $\rho = 0{,}97$ *г/см³*.

Задача № 6

Катушка диаметром $d = 2$ *см*, содержащая один слой плотно прилегающих друг к другу $N = 500$ витков алюминиевого провода сечением $S = 1$ *мм²*, помещена в магнитное поле. Ось катушки параллельна линиям индукции. Магнитная индукция поля равномерно изменяется со скоростью *1 мТл/с*. Определить тепловую мощность, выделяющуюся в катушке, если ее концы замкнуты накоротко. Удельное сопротивление алюминия $\rho = 26$ *нОм · м*.

Задача № 7

Определить напряженность H поля, создаваемого прямолинейно равномерно движущимся со скоростью $v = 5000$ *км/с* электроном в точке, находящейся от него на расстоянии $r = 10$ *нм* и лежащей на перпендикуляре к v, проходящим через мгновенное положение электрона.

Задача № 8

В цепь колебательного контура, содержащего последовательно соединенные резистор сопротивлением $R = 40$ *Ом*, катушку индуктивностью $L = 0{,}36$ *Гн* и конденсатор ёмкостью $C = 28$ *мкФ*, подключено внешнее переменное напряжение с амплитудным значением $Um = 180$ *В* и частотой $\omega = 314$ *рад/с*. Определить *1)* амплитудное значение силы тока Im в цепи; *2)* сдвиг φ по фазе между током и внешним напряжением.

Вариант № 3

Задача № 1

По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми $d = 15$ *см*, текут токи $I1 = 70$ *А* и $I2 = 50$ *А* в противоположных направлениях. Определить магнитную индукцию В в точке *А*, удаленной на $r1 = 20$ *см* от первого и $r2 = 30$ *см* от второго проводника.

Задача № 2

Два бесконечных прямолинейных параллельных проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, находятся друг от друга на расстоянии R. Чтобы их раздвинуть до расстояния $2R$, на каждый сантиметр длины проводника затрачивается работа $A = 138$ *нДж*. Определить силу тока в проводниках.

Задача № 3

Круговой проводящий контур радиусом $r = 5$ *см* и током $I = 1$ *А* находится в магнитном поле, причем плоскость контура перпендикулярна направлению поля. Напряженность поля равна *10 кА/м*. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на $90°$ во круг оси, совпадающей с диаметром контура.

Задача № 4

В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции движется прямой проводник длиной *40 см*. Определить силу Лоренца, действующую на свободный электрон проводника, если возникающая на его концах разность потенциалов составляет *10 мкВ.*

Задача № 5

Определить, во сколько раз постоянная Холла у меди больше, чем у алюминия, если известно, что в алюминии на один атом в среднем приходится два свободных электрона, а в меди – *0,8* свободных электронов. Плотности меди и алюминия соответственно равны *8,93* и *2,7* $г/см^3$.

Задача № 6

Плоскость проволочного витка площадью $S = 100$ $см^2$ и сопротивлением $R = 5$ *Ом*, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью $H = 10$ *кА/м*, перпендикулярна линиям магнитной индукции. При повороте витка в магнитном поле отсечет гальванометра, замкнутого на виток, составляет $Q = 12,6$ *мКл*. Определить угол поворота витка.

Задача № 7

Соленоид диаметром $d = 3$ *см* имеет однослойную обмотку из плотно прилегающих друг к другу витков алюминиевого провода $(\rho' = 26$ *нОм · м*$)$ диаметром $d1 = 0,3$ *мм*. По соленоиду течёт ток $I0 = 0,5$ *А*. Определить количество электричества Q, протекающее по соленоиду, если его концы закоротить.

Задача № 8

В колебательный контур, содержащий последовательно соединенные конденсатор и катушку с активным сопротивлением, подключено внешнее переменное напряжение, частоту которого можно менять, не меняя его амплитуды. При частотах внешнего напряжения $\omega 1 = 400$ *рад/с и* $\omega 2 = 600$

рад/с амплитуды силы тока в цепи оказались одинаковыми. Определить резонансную частоту тока.

Вариант № 4

Задача № 1

Напряженность H магнитного поля в центре кругового витка с магнитным моментом $p_m = 1.5\ А \cdot м^2$ равна $150\ А/м$. Определить: *1)* радиус витка; *2)* силу тока в витке.

Задача № 2

Прямоугольная рамка со сторонами $a = 40$ см и $b = 30\ см$ расположена в одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током $I = 6\ А$ так, что длинные стороны рамки параллельны проводу. Сила тока в рамке $I_1 = 1\ А$. Определить силы, действующие на каждые из сторон рамки, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии $c = 10\ см$, а ток в ней сонаправлен *току I.*

Задача № 3

В однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 1\ Тл$ находится плоская катушка из *100* витков радиусом $r = 10\ см$, плоскость которой с направлением поля составляет угол $\beta = 60^\circ$. По катушке течёт ток $l = 10\ А$. Определить: 1) вращающий момент, действующий на катушку; 2) работу для удаления этой катушки из магнитного поля.

Задача № 4

Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией. $B = 0{,}1\ Тл$ по окружности. Определить угловую скорость вращения электрона.

Задача № 5

Через сечение медной пластинки толщиной $d = 0{,}2\ мм$ пропускается ток $I = 6\ А$. Пластинка помещается в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1\ Тл,$ перпендикулярное ребру пластинки и направлению тока. Считая концентрацию электронов проводимости равной концентрации атомов, определить возникающую в пластинке поперечную (холловскую) разность потенциалов. Плотность меди $\rho = 8{,}93\ г/см^3$.

Задача № 6

Кольцо из алюминиевого провода $(\rho = 26\ нОм \cdot м)$ помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца $D = 30$ *см,* диаметр провода $d = 2$ *мм*. Определить скорость изменения магнитного поля, если ток в кольце $I = 1$ *А*.

Задача № 7

Катушку индуктивностью $L = 0{,}6$ *Гн* подключают к источнику тока. Определить сопротивление катушки, если за время $t = 3$ с сила тока через катушку достигает *80 %* предельного значения.

Задача № 8

Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 0{,}1$ *мГн*, резистор сопротивлением $R = 3$ *Ом*, а также конденсатор емкостью $C = 10$ *нФ*. Определить среднюю мощность, потребляемую контуром, необходимую для поддержания в нем незатухающих колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе $Um = 2$ *В*.

Вариант № 5

Задача № 1

Соленоид длиной $l = 0{,}5$ *м* содержит $N = 1000$ витков. Определить магнитную индукцию B поля внутри соленоида, если сопротивление его обмотки R = 120 Ом, а напряжение на её концах $U = 60$ *В*.

Задача № 2

Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора **B**, индукцию и напряженность магнитного поля на оси тороида без сердечника, по обмотке которого, содержащей *200* витков, протекает ток в *2 А*. Внешний диаметр тороида равен *60 см*, внутренний – *40 см*.

Задача № 3

Круглая рамка с током $(S = 15$ *см²*$)$ закреплена параллельно магнитному полю $(B = 0{,}1$ *Тл*$)$, и на неё действует вращающий момент $M = 0{,}45$ *мН · м*. Рамку освободили, после поворота $90°$ её угловая скорость стала $\omega = 30\ с^{-1}$ Определить: 1) силу тока, текущего по рамке; 2) момент инерции рамки относительно её диаметра.

Задача № 4

Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 2$ *мТл*, движется по круговой орбите радиусом $R = 15$ *см*. Определить магнитный момент *pm* эквивалентного кругового тока.

Задача № 5

Требуется получить напряженность магнитного поля, равную *12,6 Э*, в соленоиде длиной *20 см* и диаметром *5 см*. Найти: 1) число ампер-витков, необходимого для этого соленоида, 2) разность потенциалов, которую надо приложить к концам обмотки из медной проволоки диаметром *0,5 мм*. Считать поле соленоида однородным.

Задача № 6

В магнитное поле, изменяющееся по закону $4\ c^{-1}$ $B = B0 \cos \omega t$ $(B0 = 0{,}1$ $Тл$, $\omega =)$, помещена квадратная рамка со стороной $a = 50$ *см*, причем нормаль к рамке образует с направлением поля угол $\alpha = 45^{\circ}$. Определить э.д.с. индукции, возникающей в рамке в момент времени $t = 5$ *с*.

Задача № 7

Соленоид без сердечника с однослойной обмоткой из проволоки диаметром $d = 0{,}5$ *мм* имеет длину $l = 0{,}4$ *м* и поперечное сечение $S = 50$ *см²* . Какой ток течет по обмотке при напряжении $U = 10$ *В*, если за время $t = 0{,}5$ *мс* в обмотке выделяется количество теплоты, равное энергии внутри соленоида? Поле считать однородным.

Задача № 8

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью *800 мкФ* и катушки, индуктивностью которой $2 \cdot 10^{-3}$ *Гн*. На какую длину волны настроен контур? Сопротивлением контура пренебречь.

Вариант № 6

Задача № 1

В соленоиде длиной $l = 0{,}4$ *м* и диаметром $D = 5$ *см* создается магнитное поле, напряженность которого $H = 1{,}5$ *кА/м*. Определить: 1) магнитодвижущую силу F_m; 2) разность потенциалов U на концах обмотки, если для нее используется алюминиевая проволока $(\rho = 26$ *нОм* $\cdot$ *м*$)$ диаметром $d = 1$ *мм*.

Задача № 2

По двум параллельным проводам длиной $l = 3$ *м* каждый текут одинаковые токи $I = 500$ *А*. Расстояние d между проводами равно *10 см*. Определить силу F взаимодействия проводов.

Задача № 3

Квадратный контур со стороной *a = 10 см, по которому течет ток I = 50 А*, свободно установился в однородном магнитном поле *(B = 80 мТл)*. Определить изменение $\Delta \Pi$ потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\theta = 180^\circ$.

Задача № 4

Электрон, обладая скоростью υ *= 1 Мм/с*, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряженность магнитного поля *H = 1,5 кА/м*. Определить: 1) шаг спирали; 2) радиус витка спирали.

Задача № 5

Пластинка полупроводника толщиной *a = 0,2 мм* помещена в магнитное поле, перпендикулярное пластинке. Удельное сопротивление полупроводника $\rho = 10^{-5}$ *Ом · м* и индукция магнитного поля *B = 1 Тл*. Перпендикулярно полю вдоль пластинки пропускается ток *I = 0,1 А*. При этом возникает поперечная разность потенциалов $U = 3{,}25 \cdot 10^{-3}$ *В*. Определить подвижность носителей тока в полупроводнике.

Задача № 6

В однородном магнитном поле *(B = 0,1 Тл)* вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 50\ c^{-1}$ вокруг вертикальной оси стержень длиной *l = 0,4 м.* Определить э.д.с. индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции.

Задача № 7

Обмотка электромагнита, находясь под постоянным напряжением, имеет сопротивление *R = 15 Ом* и индуктивность *L = 0,3 Гн*. Определить время, за которое в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике.

Задача № 8

Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при ёмкости *2 мкФ* получить звуковую частоту *1000 Гц*? Сопротивлением контура пренебречь.

Вариант № 7

Задача № 1

Ток 20 А идёт по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти напряженность магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии 10 см.

Задача № 2

По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводам текут одинаковые токи $I = 60\ A$. Определить магнитную индукцию В в точке А (рис. 57), равноудалённой от проводов на расстояние $d = 10\ см$. Угол $\beta = \pi/3$.

Задача № 3

Квадратная рамка из тонкого провода может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон. Масса m рамки равна $20\ г$. Рамку поместили в однородное магнитное поле $(B = 0{,}1\ Тл)$, направленное вертикально вверх. Определить угол α, на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток $I = 10\ A$.

Задача № 4

Электрон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0{,}2\ мТл$ по винтовой линии. Определить скорость v электрона, если радиус винтовой линии $R = 3\ см$, а шаг $h= 9\ см$

Задача № 5

Через сечение $S = ab$ алюминиевой пластинки (a – толщина и b – высота пластинки) пропускается ток $I = 5\ A$. Пластинка помещена в магнитное поле, перпендикулярное ребру b и направлению тока. Определить возникающую при этом поперечную разность потенциалов, если индукция магнитного поля $B = 0{,}5\ Тл$ и толщина пластинки $a = 0{,}1\ мм$. Концентрацию электронов проводимости считать равной концентрации атомов.

Задача № 6

В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}02\ Тл$ равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стержень длиной $l = 0{,}5\ м$. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определить число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов $U = 0{,}1\ В$.

Задача № 7

Сила тока I в обмотке соленоида, содержащего $N = 1500$ витков, равна $5\ A$. Магнитный поток Φ через поперечное сечение соленоида составляет $200\ мкВб$. Определить энергию магнитного поля в соленоиде.

Задача № 8

Катушка, индуктивностью которой $L = 3 \cdot 10^{-5}\ Гн$, присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $S = 100\ см^2$ и расстоянием между ними $d = 0,1\ мм$. Чему равна диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур резонирует на волну длиной $750\ м$?

Вариант № 8

Задача № 1

Ток $I = 20\ A$, протекая по кольцу из медной проволоки сечением $S = 0,1\ мм^2$, создает в центре кольца напряженность магнитного поля $H = 2,24$ Э. Какая разность потенциалов приложена к кольцам проволоки, образующей кольцо?

Задача № 2

Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии $10\ см$ друг от друга. По проводникам течёт ток в одном направлении $I1 = 20\ A$ и $I2 = 30\ A$. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводников), чтобы раздвинуть эти проводники на расстояние $20\ см$?

Задача № 3

Плоский контур с током $I = 5\ A$ свободно установился в однородном магнитном поле $(B = 0,4\ Тл)$. Площадь контура $S = 200\ см^2$. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 40^\circ$. Определить совершённую при этом работу A.

Задача № 4

Ионы двух изотопов с массами $m1 = 6,5 \cdot 10^{-26}\ кг$ и $m2 = 6,8 \cdot 10^{-26}\ кг$, ускоренные разностью потенциалов $U = 0,5\ кВ$, влетают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,5\ Тл$ перпендикулярно линиям индукции. Принимая заряд каждого иона равным элементарному электрическому заряду, определить, насколько будут отличаться радиусы траекторий ионов изотопов в магнитном поле.

Задача № 5

Заряженная частица, двигаясь перпендикулярно скрещенным пол прямым углом электрическому ($E = 400$ *кВ/м*) и магнитному ($B = 25$ *Тл*) полям, не испытывает отклонения при определённой скорости v. Определить эту скорость.

Задача № 6

В однородном магнитном поле ($B = 0{,}5$ *Тл*) равномерно с частотой $n = 600$ *мин*$^{-1}$ вращается рамка, содержащая $N = 1200$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 100$ *см* ^{2}. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную э.д.с., индуцируемую в рамке.

Задача № 7

Индуктивность соленоида при длине *1 м* и площади поперечного сечения *20 см* ^{2} равна *0,4 мГн.* Определить силу тока в соленоиде, при которой объёмная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна *0,1 Дж/м* ^{3}.

Задача № 8

Уравнение измерения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре дано в виде $U = 50 \cos 10^{4} \pi t$ *В*. Ёмкость конденсатора *0,1 мкФ*. Найти: 1) период колебаний, 2) индуктивность контура, 3) закон изменения со временем силы тока в цепи, 4) длину волны, соответствующую этому контуру.

Вариант № 9

Задача № 1

По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, идёт ток силой $I = 2$ *А*. При этом в центре рамки образуется магнитное поле напряженностью $H = 33$ *А/м*. Найти длину L проволоки, из которой сделана рамка.

Задача № 2

Алюминиевый провод, площадь поперечного сечения которого *1 мм*^{2}, подвешен в горизонтальной плоскости перпендикулярно магнитному меридиану, и по нему течёт ток (с запада на восток) силой *1,6 А*. 1) Какую долю от силы тяжести провода составляет сила, действующая на него со стороны земного магнитного поля? 2) На сколько уменьшится сила тяжести 1 м провода вследствие этой силы? Горизонтальная составляющая земного магнитного поля *0,2 Э*.

Задача № 3

Катушка гальванометра, состоящая из *600* витков проволоки, подвешена на нити длиной *10 см* и диаметром *0,1 мм* в магнитном поле напряженностью $16 \cdot 10^{4}$ *А/м* так, что её плоскость параллельна направлению магнитного поля. Длина рамки катушки a = *2,2 см* и ширина b = *1,9 см*. Какой ток течёт по обмотке катушки, если катушка повернулась на угол *0,5°*? Модуль сдвига материала нити *600 кгс/мм*^{2}.

Задача № 4

Два иона разных масс с одинаковыми зарядами влетели в однородное магнитное поле, стали двигать по окружностям радиусами *R1 = 3 см и R2 = 1,73 см*. Определить отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

Задача № 5

Перпендикулярно магнитному полю с индукцией *B = 0,1 Тл* возбуждено электрическое поле с напряжённостью *E = 100 кВ/м.* Перпендикулярно обоим полям движется, не отклоняясь от прямолинейной траектории, заряженная частица. Вычислить скорость v частицы.

Задача № 6

Магнитная индукция В поля между полюсами двухполюсного генератора равно *1 Тл*. Ротор имеет *140* витков (площадь каждого витка *S = 500 см²*). Определить частоту вращения якоря, если максимальное значение э.д.с. индукции равно *220 В.*

Задача № 7

В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением *R = 20 Ом* и катушку индуктивностью *L = 0,06 Гн*, течёт ток *I = 20 А*. Определить силу тока *I* в цепи через Δt = *0,2 мс* после её размыкания.

Задача № 8

Уравнение измерения силы тока в колебательном контуре со временем дается в виде *I = - 0,02 sin 400 πt А*. Индуктивность контура *1 Гн*. Найти: 1) период колебаний, 2) ёмкость контура, 3) максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора, 4) максимальную энергию магнитного поля, 5) максимальную энергию электрического поля.

Вариант № 10

Задача № 1

Катушка длиной *30 см* состоит из *1000* витков. Найти напряженность магнитного поля внутри катушки, если ток, ток проходящий по катушке, равен *2 А*. Диаметр катушки считать малым по сравнению с её длиной.

Задача № 2

Тонкий провод в виде дуги, составляющий треть кольца радиусом $R = 15$ *см*, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ *мТл*. По проводу течёт ток $I = 30$ *А*. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и подводящие провода находятся вне поля. Определить силу F, действующую на провод.

Задача № 3

В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}02$ *Тл* равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стержень длиной $l = 0{,}5$ *м.* Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определить число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов $\Delta\varphi = 0{,}1$ *В.*

Задача № 4

Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ *кВ* и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле *(*$B = 0{,}5$ *Тл).* Определить относительную атомною массу A иона, если он описал окружность радиусом $R = 4{,}37$ *см.*

Задача № 5

Магнитное поле напряжённостью $H = 8\cdot10^{-3}$ *А/м* и электрическое поле напряжённостью $E = 10$ *В/см* направлены одинаково. Электрон влетает в такое электромагнитное поле со скоростью $v = 10^5$ *м/с*. Найти нормальное a_n, тангенциальное a_τ и полное a ускорение электрона. Скорость электрона направлена параллельно силовым линиям.

Задача № 6

В однородном магнитном поле *(*$B = 0{,}2$ *Тл)* равномерно вращается прямоугольная рамка, содержащая $N = 200$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 100$ *см*^{2}. Определить частоту вращения рамки, если максимальная э.д.с. индуцируемая в ней, $(\varepsilon i)max = 12{,}6$ *В.*

Задача № 7

Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0{,}1$ *Гн* и источника тока. Источник тока отключили, не разрывая цепи. Время, через которое сила тока уменьшается до $0{,}001$ первоначального значения, равно $t = 0{,}07$ *с*. Определить сопротивление катушки.

Задача № 8

Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 2{,}22$ *нФ* и катушки, намотанной из медной проволоки диаметром $d = 0{,}5$ *мм*. Длина катушки $l = 20$ *см*. Найти логарифмический декремент затухания колебаний.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5

ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМА И ЯДРА

Выписка из рабочей программы

1. Интерференция световых волн. Когерентность и монохроматичность световых волн. Способы получения когерентных источников. Оптическая длина пути. Условия минимума и максимума при интерференции.
2. Интерференция в тонких плёнках. Кольца Ньютона.
3. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля.
4. Дифракция Фраунгофера от щели. Дифракционная решётка. Разрешающая способность дифракционной решётки.
5. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Степень поляризации.
6. Поляризация света при отражении и преломлении. Закон Брюстера.
7. Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Явление дихроизма. Вращение плоскости поляризации.
8. Нормальная и аномальная дисперсия света. Электронная теория дисперсии света.
9. Поглощение света. Связь дисперсии с поглощением. Спектры поглощения и цвета тел.
10. Рассеяние света. Закон Рэлея.
11. Тепловое излучение. Абсолютно чёрное тело. Закон Кирхгофа.
12. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела.
13. Гипотеза Планка о квантовом характере излучения. Формула Планка.
14. Квантовая природа света. Фотоны: энергия, импульс, масса, скорость. Корпускулярно-волновой дуализм свойств света.
15. Фотоэлектрический эффект. Законы Столетова для внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
16. Опыты Лебедева. Давление света согласно квантовым представлениям.
17. Опыты по рассеянию рентгеновских лучей веществом. Эффект Комптона и его квантовая теория.
18. Опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц. Ядерная модель атома по Резерфорду. Спектры излучения атома водорода. Формула Бальмара.
19. Постулаты Бора. Энергия атома водорода. Опыты Франка и Герца.
20. Гипотеза де Бройля и формула де Бройля. Соотношение неопределённостей.

21. Волновая функция. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Собственные функции и собственные значения.
22. Решение уравнения Шредингера для случая частицы в бесконечно глубокой «потенциальной яме».
23. Опыты Штерна и Герлаха. Понятие о спине электрона. Полный момент импульса электрона в атоме.
24. Уравнение Шредингера для атома водорода. Квантовые числа: главное, орбитальное, магнитное и спиновое. 1-S состояние атома водорода. Спектр излучения атома водорода. Правила отбора.
25. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме.
26. Состав атомного ядра: протоны и нейтроны. Основные характеристики нуклонов. Изотопы. Дефект массы и энергия связи в ядре. Понятие о ядерных силах.
27. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность изотопа. Типы радиоактивности. Понятие о дозиметрии.
28. Понятие о ядерных реакциях. Законы сохранения в ядерных реакциях. Деление тяжёлых ядер. Термоядерный синтез.
29. Понятие об элементарных частицах. Типы взаимодействий и их переносчики. Кварковая гипотеза строения адронов.

Основные определения и формулы.

Закон прямолинейного распространения света: свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

Закон независимости световых пучков: эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены.

Закон отражения: отражённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым к границе раздела двух сред в точке падения; угол i'_1 отражения равен углу i_1 падения

$$i'_l = i_l$$

Закон преломления: луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр, проведённый к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Предельный угол полного отражения – угол падения, при котором угол преломления равен $\pi/2$

$$i_{пр} = \arcsin\frac{n_2}{n_1}$$

$$(n_2 < n_1)$$

Формула тонкой линзы

$$(N-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{a}+\frac{1}{b}$$

[$N = n/n_1$ – относительный показатель преломления (n и n_1 – соответственно абсолютные показатели преломления линзы и окружающей среды)].

Фокусное расстояние линзы

$$f = \frac{1}{(N-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$$

Интерференция света – пространственное перераспределение светового потока при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности.

Разность фаз двух когерентных волн

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}(L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta$$

Условие интерференционных максимумов

$$\Delta = \pm m\lambda$$

[Δ - разность хода двух волн, возбуждающих колебания в данной точке, λ – длина волны, *m* – целое число; *m* = 0,1,2,…].

Условие интерференционных минимумов

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

[Δ - разность хода двух волн, возбуждающих колебания в данной точке, λ – длина волны, *m* – целое число; *m* = 0,1,2,…].

Ширина интерференционной полосы – расстояние между двумя соседними максимумами (или минимумами)

$$\Delta x = \frac{1}{d}\lambda_0$$

[*d* – расстояние между когерентными источниками, находящимися на расстоянии *l* от экрана, параллельного источникам, при условии *l* >> *d*].

Оптическая разность хода лучей, отражённых от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной плёнки, находящейся в воздухе (n_0=1)

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \Delta$$

[*d* – толщина плёнки; *n* – её показатель преломления; *i* – угол падения. В общем случае слагаемое $\pm\lambda_0/2$ обусловлено потерей полуволны при отражении света от границы раздела: если $n > n_0$, то необходимо выбирать знак плюс, если $n < n_0$ – знак минус].

Радиусы светлых колец Ньютона в отражённом свете (или тёмных в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{(m - 1/2)\lambda_0 R}$$

[*m* = 1,2,3, … - номер кольца, *R* – радиус кривизны линзы].

Радиусы тёмных колец Ньютона в отражённом свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m^* = \sqrt{m\lambda_0 R}$$

[*m* = 0,1,2, …].

Дифракция – совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде вблизи непрозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.д. и связанных с отклонениями от геометрической оптики.

Принцип Гюйгенса: каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн даёт положение волнового фронта в следующий момент времени.

Принцип Гюйгенса – Френеля: световая волна, возбуждаемая каким-либо источником *S*, может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, «излучаемых» фиктивными источниками.

Радиус внешней границы *m*–й зоны Френеля для сферической волны

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

[m – номер зоны Френеля; λ – длина волны, a и b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором дифракционная картина наблюдается].

Условия дифракционных максимумов и минимумов от одной щели, на которую свет падает нормально

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

[a – ширина щели; φ – угол дифракции; m = 1,2,3, … - порядок спектра; λ – длина волны].

Одномерная дифракционная решётка – система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделённых равными по ширине непрозрачными промежутками.

Постоянная (период) дифракционной решётки

$$d = a + b = \frac{1}{N_0}$$

[a – ширина каждой щели решётки; b – ширина непрозрачных участков между щелями].

Условие главных максимумов дифракционной решётки, на которую свет падает нормально

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} = \pm m\lambda$$

[d – период дифракционной решётки; m = 0,1,2, …].

Условие дополнительных минимумов дифракционной решётки, на которую свет падает нормально

$$d\sin\varphi = \pm m'\frac{\lambda}{N}$$

[d – период дифракционной решётки; N – число штрихов решётки; m' = 1,2,3, …, кроме 0, N, $2N$...].

Условие дифракционных максимумов от пространственной решётки (формула Вульфа-Брэгга) –

$$2d\sin\theta = m\lambda$$

[d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ - угол скольжения; m = 1,2,3, …].

Критерий Рэлея: изображения двух близлежащих одинаковых точечных источников или двух близлежащих спектральных линий с равными интенсивностями и одинаковыми симметричными контурами разрешимы (разделены для восприятия), если центральный максимум дифракционной картины от одного источника (линии) совпадает с первым минимумом дифракционной картины от другого.

Разрешающая способность диффракционной решётки

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN$$

[λ, (λ + λδ) – длины волн двух соседних спектральных линий, разрешаемых решёткой; m – порядок спектра; N – общее число штрихов решётки].

Дисперсия света – зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волны λ) света или зависимость фазовой скорости υ световых волн от его частоты ν.

Следствие дисперсии – разложение в спектр пучка белого света при прохождении его через призму.

Угол отклонения лучей призмой

$$\varphi = A(n-1)$$

[A – преломляющий угол призмы, n – показатель её преломления].

Закон Бугера (закон ослабления света в веществе)

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

[I и I_0 – интенсивность плоской монохроматической световой волны соответственно на входе и выходе слоя поглощающего вещества толщиной x; α – коэффициент поглощения].

Естественный свет – свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора $\vec{E}$ (и, следовательно $\vec{H}$).

Поляризованный свет – свет, в котором направления колебаний светового вектора каким – то образом упорядочены.

Частично поляризованный свет - свет, в котором направления колебаний светового вектора имеют преимущественное (но не исключительное!) направление.

Плоскополяризованный (линейно – поляризованный) свет – свет в котором вектор $\vec{E}$ (а следовательно, и $\vec{H}$) колеблется только в одном направлении, перпендикулярном лучу.

Плоскость поляризации – плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоскополяризованной волны и направление распространения этой волны.

Эллиптически поляризованный свет – свет, для которого вектор $\vec{E}$ (вектор $\vec{H}$) изменяется со временем так, что его конец описывает эллипс, лежащий в плоскости, перпендикулярной лучу. Плоскополяризованный свет является предельным случаем эллиптически поляризованного света.

Степень поляризации света

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

[$I_{\max}$ и $I_{\min}$ – соответственно максимальная и минимальная интенсивность частично поляризованного света, пропускаемого анализатором].

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

[I – интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор; I_0 - интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; α – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора].

Закон Брюстера: тангенс угла Брюстера равен относительному показателю преломления n_{21} второй среды относительно первой

$$tg i_B = n_{21}$$

Если свет падает на границу раздела под углом Брюстера, то отражённый луч является плоскополяризованным (содержит только колебания, перпендикулярные плоскости падения). Преломленный луч поляризуется максимально, но не полностью.

Если свет падает на границу раздела под углом Брюстера, то отражённый и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.

Двойное лучепреломление – способность прозрачных кристаллов (кроме кристаллов кубической системы, которые оптически изотропны) раздваивать каждый падающий на них световой пучок.

Дихроизм – свойство двоякопреломляющих кристаллов иметь различное поглощение света в зависимости от ориентации электрического вектора световой волны.

Угол поворота плоскости поляризации:

для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей;

$$\varphi = \alpha d$$

для оптически активных растворов

$$\varphi = [\alpha] C d$$

[α_0 [α] – удельное вращение, численно равное углу поворота плоскости поляризации света слоем оптически активного вещества единичной толщины (единичной концентрации – для растворов); d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе; C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе].

Тепловое излучение – испускания электромагнитных волн телом за счёт его внутренней энергии, происходящее при любой температуре тела.

Спектральная плотность энергетической светимости (излучательности) тела – мощность излучения с площади 1 м^2 поверхности тела в интервале частот единичной ширины

$$r_{\nu,T} = \frac{dU^{изл}_{\nu,\nu+d\nu}}{d\nu}$$

[$dU^{изл}_{\nu,\nu=d\nu}$ - энергия электромагнитного излучения, испускаемого за 1 с (мощность излучения) с площади 1 м^2 поверхности тела в интервале частот от ν до $\nu + d\nu$].

Единица спектральной плотности энергетической светимости ($R_{\nu,T}$) – **джоуль на квадратный метр (Дж/м^2).**

Энергетическая светимость.

$$R_T = \int_0^\infty r_{\nu,T} d\nu$$

Спектральная поглощательная способность – отношение энергии, поглощаемой телом, к энергии, приносимой за 1 с на площадь 1 м^2 поверхности тела падающими на неё электромагнитными волнами с частотами от ν до $\nu + d\nu$

$$A_{\nu,T} = \frac{dU^{погл}_{\nu,\nu+d\nu}}{dU_{\nu,\nu+d\nu}}$$

Спектральная поглощательная способность – безразмерная величина.

Абсолютно чёрное тело – тело, способное поглощать полностью при любой температуре все падающее на него излучение любой частоты.

Серое тело – тело, поглощательная способность которого меньше единицы, но одинакова для всех частот и зависит только от температуры, материала и состояния поверхности тела.

Закон Кирхгофа: отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела; оно является для всех тел универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры

$$\frac{r_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r^*_{\nu,T}$$

[$r_{\nu,T}$ – универсальная функция Кирхгофа (спектральная плотность энергетической светимости чёрного тела)].

Энергетическая светимость абсолютно чёрного тела

$$R_e = \int_0^\infty r^*_{\nu,T} d\nu = \int_0^\infty r^*_{\lambda,T} d\lambda$$

[$r^*_{\nu,T}\left(r^*_{\lambda,T}\right)$ - спектральная плотность энергетической светимости].

Закон Стефана – Больцмана: энергетическая светимость чёрного тела пропорциональна четвёртой степени термодинамической температуры

$$R^*_e = \sigma T^4$$

[σ – постоянная Стефана - Больцмана].

Постоянная Стефана - Больцмана

$$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{Вт}{\left(м^2 \cdot К^4\right)}$$

Энергетическая светимость серого тела

$$R^c_T = A_T \sigma T^4$$

[A_T – поглощательная способность серого тела].

Закон смещения Вина: длина волны, λ_{max}, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости $r_{\nu,T}$ чёрного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

[b – постоянная Вина].

Постоянная Вина.

$$b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}\ м \cdot К$$

Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости чёрного тела от температуры

$$\left(r^*_{\lambda,T}\right)_{max} = CT^5$$

[C = 1,30 · 10^{-5} Вт/($м^3$ · $К^5$)].

Формула Рэлея – Джинса для спектральной плотности энергетической светимости чёрного тела

$$r^*_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}\kappa T$$

[κ – постоянная Планка, T – термодинамическая температура, c – скорость распространения света в вакууме].

Энергия кванта

$$\varepsilon_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Постоянная Планка

$$h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}\ \textit{Дж} \cdot c$$

Энергия осциллятора может принимать лишь определённые дискретные значения, кратные целому числу элементарных порций энергии ε_0

$$\varepsilon = nh\nu$$

[$n = 0,1,2, \ldots$].

Формула Планка

$$r^*_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{\exp[hc/(\kappa T)] - 1}\ ; \qquad r^*_{\lambda,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp[hc/(\kappa T\lambda)] - 1}$$

Оптическая пирометрия – методы измерения высоких температур, использующие зависимость спектральной плотности энергетической светимости или интегральной энергетической светимости тел от температуры.

Пирометр – прибор для измерения температуры нагретых тел по интенсивности их теплового излучения в оптическом диапазоне спектра.

Радиационная температура – температура чёрного тела, при которой его энергетическая светимость R_e равна энергетической светимости R_T исследуемого тела.

Радиационная температура

$$T_p = \sqrt[4]{A_T T}$$

[A_T – поглощательная способность серого тела, T – истинная температура тела].

Внешний фотоэлектрический эффект (фотоэффект) – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Внутренний фотоэффект – вызванные электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводника или диэлектрика из связанных состояний в свободные без вылета наружу.

Законы Столетова:

1. При фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна энергетической освещённости E_e катода).
2. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой ν.
3. Для каждого вещества существует “красная граница” фотоэффекта, т.е. минимальная частота ν_0 света (зависящая от химиче-

ской природы вещества и состояния его поверхности), ниже которой фотоэффект невозможен.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта: энергия падающего фотона расходуется на совершение электроном работы выхода A из металла и на сообщение вылетевшему фотоэлектрону кинетической энергии

$$h_{\nu} = A + \frac{mv_{\max}^{2}}{2} \quad \text{или} \quad eU_0 = h(\nu - \nu_0)$$

[$mv^2_{\max}/2 = eU_0$ (U_0 – задерживающее напряжение), $\nu_0 = A/h$ ($\lambda_0 = hc/A$) «красная граница» фотоэффекта (λ_0 – максимальная длина волны излучения (ν_0 – соответственно минимальная частота), при которой фотоэффект ещё возможен)].

Масса фотона

$$m_{\gamma} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$$

[$h\nu$ – энергия фотона].

Импульс фотона

$$p_{\gamma} = \frac{h\nu}{c}$$

Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность

$$p = \frac{E_e}{c}(1+p) = w(1+p)$$

[$E_e = Nh\nu$ – облучённость поверхности (энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени); p – коэффициент отражения; w – объёмная плотность энергии излучения].

Эффект Комптона: упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и γ – излучений) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны.

Изменение длины волны рентгеновского излучения при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta) = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2} = 2\lambda_C \sin^2\frac{\theta}{2}$$

[λ и λ′ - длина волны падающего и рассеянного излучений; m_0 – масса электрона; θ – угол рассеяния; λ_C – комптоновская длина волны].

Комптоновская длина волны

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 2{,}426\,пм$$

Обобщённая формула Бальмера, описывающая серии в спектре атома водорода

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

[ν – частота спектральных линий в спектре атома водорода; R – постоянная Ридберга; m определяет серию (m = 1,2,3, …); n – определяет отдельные линии соответствующей серии ($n = m + 1$, $m + 2$, …); $m = 1$

(серия Лаймана), m = 2 (серия Бальмера), m = 3 (серия Пашена), m = 4 (серия Брэкета), m = 5 (серия Пфунда), m = 6 (серия Хэмфри)].

Постоянная Ридберга

$$R = 3{,}29 \cdot 10^{15} c^{-1}$$

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергию.

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, имеет дискретные квантованные значения момента импульса

$$m_e \upsilon r_n = nh$$

[m_e – масса электрона, υ – его скорость на n – й орбите радиуса r_n, $h = h / (2\pi)$ (n = 1,2,3, …)].

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний

$$h\nu = E_n - E_m$$

[E_n и E_m – соответственно энергия стационарного состояния атома до и после излучения (поглощения)].

Радиус n – й стационарной орбиты

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m_e Z e^2} = r_, n^2$$

[n = 1,2,3, …].

Первый боровский радиус

$$r_1 = a = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m e^2} = 52{,}8 \text{ пм}$$

Энергия электрона на n – й стационарной орбите

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Z^2 m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2}$$

[Z – порядковый номер элемента в системе Менделеева; ε_0 – электрическая постоянная; n = 1,2,3, …].

Главное квантовое число *n* – число, определяющее энергетические уровни атома.

Основное (нормальное) состояние – энергетическое состояние с n=1.

Возбуждённое состояние – энергетическое состояние с $n > 1$.

Основной (нормальный) уровень – энергетический уровень, соответствующий основному состоянию атома.

Гипотеза де Бройля: с каждым микрообъектом связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики – энергия E и импульс p, а с другой – волновые характеристики – частота ν и длина волны λ.

Дебройлевская длина волны частицы

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

[p – импульс частицы].

Фазовая скорость частицы массой m, свободно движущейся со скоростью υ

$$\upsilon_{фаз} = \frac{\omega}{\kappa} = \frac{E}{p} = \frac{c^2}{\upsilon}$$

[$E = h\omega$ – энергия частицы (ω – круговая частота); $p = hk$ – импульс ($\kappa = 2\pi/\lambda$ – волновое число)].

Групповая скорость свободно движущейся частицы

$$u = \frac{d\omega}{dk} = \frac{dE}{dp}$$

Соотношения неопределённостей: для координаты и импульса частицы

$$\Delta x \Delta p_x \geq h$$

$$\Delta y \Delta p_y \geq h$$

$$\Delta z \Delta p_z \geq h$$

[Δx, Δy, Δz - неопределённости координат; Δp_x, Δp_y, Δp_z – неопределённости соответствующих проекций импульса частицы на оси координат];

для энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq h$$

[ΔE – неопределённость энергии данного квантового состояния; Δt – время пребывания системы в данном состоянии].

Вероятность нахождения частицы в объёме d*V*

$$dW = \psi\psi^* dV = |\psi|^2 \; dV$$

[$\psi = \psi(x, y, z, t)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; ψ^* - функция, комплексно сопряжённая с ψ; $|\psi|^2 = \psi\,\psi^*$ - квадрат модуля волновой функции].

Плотность вероятности – вероятность нахождения частицы в окрестности точки с координатами x, y, z.

$$|\psi|^2 = \frac{dW}{dV}$$

Квадрат модуля волновой функции задаёт интенсивность волн де Бройля.

Условие нормировки вероятностей

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

Волновая функция ψ, являясь основной характеристикой состояния микрообъектов, должна быть конечной (вероятность не может быть больше 1), однозначной (вероятность не может быть неоднозначной величиной) и непрерывной (вероятность не может изменяться скачком).

Волновая функция удовлетворяет **принципу суперпозиции:** если система может находиться в различных состояниях, описываемых волновыми функциями ψ_1, ψ_2, … ψ_n, …, то она также может находиться в состоянии ψ, описываемом линейной комбинацией этих функций

$$\psi = \sum_n C_n \psi_n$$

[C_n (n = 1,2, …) – произвольные, вообще говоря, комплексные числа].

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2

$$W = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 \, dx$$

Среднее значение физической величины *L,* характеризующей частицу, находящуюся в состоянии, описываемом волновой функцией ψ.

$$\langle L \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} L\, |\psi|^2 \, dV$$

Общее уравнение Шредингера

$$-\frac{h^2}{2m}\Delta\psi + U(x,y,z,t)\psi = ih\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

[$\psi = \psi\,(x,y,z,t)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; $h = h/(2\pi)$; m – масса частицы; Δ – оператор Лапласа $\left(\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right)$; $i = \sqrt{-1}$ - мнимая единица; $U = U\,(x,y,z,t)$ – силовая функция частицы в поле, в котором она движется].

Уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}(E-U)\psi = 0$$

[$\psi = \psi\,(x,y,z)$ – координатная часть волновой функции ($\psi\,(x,y,z,t) = \psi\,(x,y,z)\,e^{-i(E/h)\,t}$); $U = U\,(x,y,z)$ – потенциальная энергия частицы; E – полная энергия частицы].

Свободная частица – частица, движущаяся в отсутствие внешних полей.

Волновая функция, описывающая одномерное движение свободной частицы

$$\psi(x,t) = A\exp\left[-\frac{i}{h}(Et - p_x x)\right]$$

[A – амплитуда колебаний де Бройля; $p_x = kh$ – импульс частицы; $E = h\omega$ – энергия частицы].

Собственная энергия частицы, находящейся на n-м энергетическом уровне в одномерной прямоугольной “потенциальной яме” с бесконечно высокими “стенками”

$$E_n = n^2\frac{\pi^2 h^2}{2ml^2}$$

[l – ширина ямы; $n = 1,2,3,\ \ldots$].

Энергия E_n принимает лишь определённые дискретные значения, т.е. **квантуется.**

Уровень энергии – квантованное значение энергии E_n.

Собственная волновая функция, соответствующая собственному значению энергии

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}}\sin\frac{n\pi}{l}x$$

[$n = 1,2,3,\ \ldots$].

Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром в водородоподобном атоме

$$U(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

[r – расстояние между электроном и ядром; Z – порядковый номер элемента; ε_0 – электрическая постоянная].

Уравнение Шредингера для стационарных состояний электрона водородоподобного атома

$$\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}\left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r}\right)\psi = 0$$

[m – масса электрона; ψ – волновая функция, описывающая состояние электрона; E – полная энергия электрона в атоме].

Собственная энергия электрона водородоподобного атома

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{Z^2 me^4}{8h^2\varepsilon_0^2}$$

[n = 1,2,3, …].

Главное квантовое число – квантовое число, определяющее энергетические уровни электрона в атоме. Может принимать любые целочисленные значения, начиная с единицы.

$$n = 1,2,3,\ \ldots$$

Энергия ионизации атома водорода

$$E_i = -E_1 = \frac{me^4}{8h^2\varepsilon_0^2} = 13{,}6\ \text{эВ}$$

Орбитальное квантовое число – квантовое число, определяющее момент импульса электрона в атоме. При заданном n принимает значения $l = 0,1,\ \ldots,\ (n-1)$, т.е. всего n значений.

$$l = 0,1,\ \ldots,\ \ n-1$$

Момент импульса электрона (механический орбитальный момент)

$$L_l = h\sqrt{l(l+1)}$$

[l – орбитальное квантовое число].

Магнитное квантовое число – квантовое число, определяющее момент импульса электрона на заданное направление. При заданном l принимает значения $m_l = 0, \pm1, \pm2, \ldots \pm l$, т.е. всего $(2l + 1)$ значений.

Проекция момента импульса на направление z внешнего магнитного поля

$$L_{lz} = hm_l$$

[m_l –магнитное квантовое число].

Правило отбора для орбитального квантового числа

$$\Delta l = \pm1$$

Правило отбора для магнитного квантового числа

$$\Delta m_l = 0,\pm1$$

Нормированная волновая функция, отвечающая $1s$ – состоянию (основному состоянию) электрона в атоме водорода

$$\psi_{100}(r)=\frac{1}{\sqrt{\pi a^3}}e^{-r/a}$$

[$a = 4\pi\varepsilon_0 h^2 / (me^2)$ – величина, совпадающая с первым боровским радиусом].

Вероятность обнаружения электрона в атоме водорода, находящемся в $1s$ – состоянии, в интервале от r до r +dr

$$dW=|\psi_{100}+|^2\ dV=|\psi_{100}|^2\cdot 4\pi r^2 dr$$

Спин (собственный механический момент импульса) **электрона**

$$L_S=h\sqrt{s(s+1)}$$

[$s=\frac{1}{2}$ - спиновое квантовое число].

Проекция спина на направление z внешнего магнитного поля

$$L_{SZ}=hm_S$$

[$m_s = \pm 1/2$ – магнитное спиновое квантовое число].

Принцип Паули: в системе одинаковых фермионов любые два из них не могут одновременно находится в одном и том же состоянии или в одном и том же атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором четырёх квантовых чисел

$$Z(n,l,m_l,m_s)=0 \text{ или } 1$$

[$Z(n,\ l, m_l,\ m_s)$ – число электронов, находящихся в квантовом состоянии, описываемом набором четырёх квантовых чисел: n – главного, l – орбитального, m_l – магнитного, m_s – магнитного спинового].

Максимальное число электронов $Z(n)$, находящихся в состояниях, определяемых данным главным квантовым числом n

$$Z(n)=\sum_{l=0}^{n-1}2(2l+1)=2n^2$$

Статистика Бозе – Эйнштейна – квантовая статистика, применяемая к системам тождественных частиц с нулевым или целочисленным спином.

Распределение Бозе – Эйнштейна

$$\langle N_i\rangle=\frac{1}{\exp[(E_i-\mu)/(kT)]-1}$$

[N_i – среднее число бозонов в квантовом состоянии с энергией E_i, μ – химический потенциал].

Атомное ядро состоит из элементарных частиц – протонов и нейтронов.

Протон (*p*) имеет положительный заряд, равный заряду электрона, и массу покоя m_p

$$m_p=1{,}6726\cdot 10^{-27}\,кг\approx 1836m_e$$

[m_e – масса электрона].

Нейтрон (*n*) – нейтральная частица с массой покоя m_n

$$m_n=1{,}6749\cdot 10^{-27}\,кг\approx 1839m_e$$

Нуклоны – это протоны и нейтроны.

Массовое число *A* – общее число нейтронов в атомном ядре.

Атомное ядро характеризуется зарядом Z_e.

[e – заряд протона].

Зарядовое число *Z* ядра – число протонов в ядре, совпадающее с порядковым номером химического элемента в Периодической системе Менделеева.

Изотопы – ядра с одинаковыми Z, но разными A (т.е. с разными числами нейтронов $N = A\text{-}Z$).

Изобары – ядра с одинаковыми A, но разными Z.

Объём ядра пропорционален числу нуклонов в нём.

Энергия связи ядра – энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны.

Энергия связи нуклонов в ядре

$$E_{св} = \Delta mc^2$$

[m_p, m_n,$m_я$ – соответственно массы протона, нейтрона и ядра; $m_{\rm H} = m_p + m_e$ – масса атома водорода $\left({}_1^1H\right)$; m – масса атома].

Дефект массы ядра

$$\Delta m = \left[Zm_p + (A-Z)m_n\right] - m_я = \left[Zm_H + (A-Z)m_n\right] - m$$

Удельная энергия связи – энергия связи, отнесённая к одному нуклону

$$\delta E_{св} = \frac{E_{св}}{A}$$

Собственный момент импульса ядра – (спин ядра) складывается из спинов нуклонов и из орбитальных моментов импульса нуклонов (моментов импульса, обусловленных движением нуклонов внутри ядра).

Спин ядра квантуется

$$L_Я = h\sqrt{I(I+1)}$$

[I – спиновое ядерное квантовое число (принимает целые или полуцелые значения $0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$].

Магнитный момент ядра

$$\vec{p}_{mя} = g_я \vec{L}_я$$

[$g_я$ – ядерное гиромагнитное отношение, $\overrightarrow{L_я}$ - собственный момент ядра (спин ядра)].

Единица магнитного момента ядра – **ядерный магнетон**

$$\mu_я = \frac{eh}{2m_p} = 5{,}0508 \cdot 10^{-27} \ \ Дж/Тл$$

[m_p – масса протона].

Радиоактивность – способность некоторых атомных ядер самопроизвольно (спонтанно) превращаться в другие ядра с испусканием различных видов радиоактивных излучений и элементарных частиц.

Три типа радиоактивного излучения:

1. **α – Излучение:** отклоняется электрическим и электромагнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой прони-

кающей способностью; представляет собой поток ядер гелия; заряд α – частицы равен +2*e*, а масса совпадает с массой ядра изотопа гелия $^{4}_{2}He$.

2. β – Излучение: отклоняется электрическим и магнитным полями; его ионизирующая способность значительно меньше (примерно на два порядка), а проникающая способность гораздо больше, чем у α – частиц; представляет собой поток быстрых электронов.

3. γ – Излучение: не отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью; представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda < 10^{-10}$ м. и вследствие этого – ярко выраженными корпускулярными свойствами, т.е. является потоком частиц – γ - квантов (фотонов).

Радиоактивный распад – естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно.

Атомное ядро, испытывающее радиоактивный распад, называется **материнским,** возникающее ядро – **дочерним.**

Закон радиоактивного распада

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

[N – число нераспавшихся ядер в момент времени t; N_0 – начальное число нераспавшихся ядер (в момент времени $t = 0$); $T_{1/2}$ – период полураспада; λ – постоянная радиоактивного распада].

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, за которое исходное *s* число радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

Число ядер, распавшихся за время *t*.

$$\Delta N = N_0 - N = N_0\left[1 - \exp(-\lambda t)\right]$$

Среднее время жизни радиоактивного ядра

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

[λ – постоянная радиоактивного распада].

Активность нуклида (общее название атомных ядер, отличающихся числом протонов Z и нейтронов N) в радиоактивном источнике – число распадов, происходящих с ядрами образца в 1 с.

$$A = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N$$

Единица активности – беккерель (Бк).

Беккерель – активность нуклида, при которой за 1 с. происходит один акт распада. В ядерной физике применяется и внесистемная единица активности нуклида в радиоактивном источнике – **кюри (Ки).**

$$1 Ku = 3{,}7 \cdot 10^{10}\, Бк$$

Ядерная реакция – превращение атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами (в том числе и с γ – квантами) или друг с другом.

Ядерная реакция, осуществлённая впервые Э. Резерфордом (1919) при бомбардировке ядра азота α – частицами, испускаемыми радиоактивным источником.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{18}_{9}F \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p$$

Законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел: сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции.

В любой ядерной реакции выполняются также законы сохранения энергии, импульса и момента импульса.

Термоядерная реакция – реакция синтеза лёгких атомных ядер в более тяжёлые, происходящая при сверхвысокой температуре (примерно 10^7 К и выше).

Поглощённая доза излучения – физическая величина, равная отношению энергии излучения к массе облучаемого вещества.

Единица поглощённой дозы излучения – грей (Гр).

Экспозиционная доза излучения - физическая величина, равная отношению суммы электрических зарядов всех ионов одного знака, созданных электронами, освобождёнными в облучённом воздухе (при условии полного использования ионизирующей способности электронов), к массе этого воздуха.

Единица экспозиционной дозы излучения – **кулон на килограмм (Кл/кг);** внесистемной единицей является **рентген (Р).**

Биологическая доза – величина, определяющая воздействие излучения на организм.

Единица биологической дозы – биологический эквивалент рентгена (бэр).

Бэр – доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновского или γ – излучения в 1 Р.

$$1 бэр = 10^{-2}\, Дж/кг$$

Мощность дозы излучения – физическая величина, равная отношению дозы излучения ко времени облучения.

Различают: **1) мощность поглощённой дозы** [единица – грей на секунду (Гр/с)]; **2) мощность экспозиционной дозы** [единица – ампер на килограмм (А/кг)].

Типы взаимодействия элементарных частиц:

сильное, или ядерное, взаимодействие обуславливает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов;

электромагнитное взаимодействие характеризуется как взаимодействие, в основе которого лежит связь с электромагнитным полем. Оно характерно для всех элементарных частиц, за исключением нейтрино, антинейтрино и фотона;

слабое взаимодействие – наиболее медленное из всех взаимодействий, протекающих в микромире. Оно ответственно за взаимодействие частиц, происходящих с участием нейтрино или антинейтрино (например, β – распад, μ – распад), а также за безнейтринные процессы распада, характеризующиеся довольно большим временем жизни распадающейся частицы ($\tau \geq 10^{-10}$ с).

Сильное взаимодействие примерно в 100 раз превосходит электромагнитное и в 10^{14} раз – слабое. Чем сильнее взаимодействие, тем с большей интенсивностью протекают процессы. Как сильное, так и слабое взаимодействия – короткодействующие. Радиус действия сильного взаимодействия составляет примерно 10^{-15} м, слабого – не превышает 10^{-19} м. Радиус действия электромагнитного взаимодействия практически не ограничен.

Элементарные частицы принято делить на три группы:

1) **фотоны** – эта группа состоит всего лишь из одной частицы – фотона (кванта электромагнитного излучения);

2) **лептоны** – участвуют только в электромагнитном и слабом взаимодействиях. К лептонам относят электронное и мюонное нейтрино, электрон, мюон и открытый в 1975 г. тяжёлый лептон – τ – лептон, или таон, с массой примерно 3487 m_e, а также соответствующие им античастицы. К лептонам относится также таонное нейтрино;

3) **адроны** – обладают сильным взаимодействием наряду с электромагнитным и слабым. К ним относят протон, нейтрон, пионы, каоны, гипероны и их античастицы.

Лептонное число *L* – квантовое число, приписываемое элементарным частицам, относящимся к группе лептонов. Обычно принимают, что $L = +1$ для лептонов ($e^-, \mu^-, \tau^-, u_e, u_\mu, u_\tau$), $L = -1$ для антилептонов ($e^+, \mu^+, \tau^+, \tilde{u}_e, \tilde{u}_\mu, \tilde{u}_\tau$) и $L = 0$ для всех остальных элементарных частиц.

Закон сохранения лептонного числа: в замкнутой системе при всех без исключения процессах взаимопревращаемости элементарных частиц лептонное число сохраняется.

Поскольку у электрона и нейтрино $L = +1$, а у позитрона и антинейтрино $L = -1$, то закон сохранения лептонного числа выполняется лишь при условии, что антинейтрино возникает вместе с электроном, а нейтрино – с позитроном.

Барионное число *B* – квантовое число, приписываемое элементарным частицам, относящимся к группе андронов. Андроны с $B = 0$ образуют подгруппу мезонов (пионы, каоны, η – мезон), а адроны с $B = +1$ образуют подгруппу барионов (к ним относят нуклоны и гипероны). Для лептонов и фотона $B = 0$.

Закон сохранения барионного числа: в замкнутой системе при всех процессах взаимопревращаемости элементарных частиц барионное число сохраняется.

Изотопический мультиплет – группа похожих элементарных частиц, одинаковым образом участвующих в сильном взаимодействии, имеющих близкие массы и отличающихся зарядами.

Изотопический спин (изоспин) – одна из внутренних характеристик адронов, определяющая число n частиц в изотопическом мультиплете:

$$n = 2I + 1$$

Тогда изоспин нуклона $I = ½$ (число членов в изотопическом мультиплете нуклона равно двум), изоспин пиона $I = 1$ (в пионном мультиплете $n = 3$) и т.д. Изотопический спин характеризует только число членов в изотопическом мультиплете и никакого отношения к рассматриваемому ранее спину не имеет.

Для процессов взаимопревращаемости элементарных частиц, обусловленных сильными взаимодействиями, выполняются все законы сохранения (энергии, импульса, момента импульса, зарядов (электрического, лептонного и барионного), изоспина).

Развитие работ по классификации элементарных частиц сопровождалось поисками новых, более фундаментальных частиц, которые могли бы служить базисом для построения всех адронов. Эти частицы были названы **кварками**.

Согласно модели Гелл – Манн – Цвейга, все известные адроны можно было построить, постулировав существование трёх типов кварков (*u, d, s*) и соответствующих антикварков (û, đ, ŝ), если им приписать характеристики, указанные в таблице (в том числе дробные! электрические и барионные заряды).

Таблица № 1

Кварк (антикварк)	Электрический заряд, ед.е	Барионное чило B	Спин, ед. h	Странность S
u (û)	+2/3 (-2/3)	+1/3 (-1/3)	½	0
d (đ)	-1/3 (+1/3)	+1/3 (-1/3)	½	0
s (ŝ)	-1/3 (+1/3)	+1/3 (-1/3)	½	-1 (+1)
c (ĉ)	+2/3 (-2/3)	+1/3 (-1/3)	½	-1 (+1)

Самое удивительное (почти невероятное) свойство кварков связано с их электрическим зарядом, поскольку ещё никто не находил частиц с дробным значением элементарного электрического заряда. Спин кварка равен ½, поскольку только из фермионов можно «сконструировать» как фермионы (нечётное число фермионов), так и бозоны (чётное число фермионов).

В настоящее время признана точка зрения, согласно которой между лептонами и кварками существует симметрия: число лептонов должно быть равно числу типов кварков. Является ли схема из шести лептонов и шести кварков окончательной или же число лептонов (кварков) будет расти, покажут дальнейшие исследования.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Вариант № 1

Задача № 1

При проведении поисково – спасательных работ в ночное время по обнаружению пострадавшего человека необходимо увидеть точечный источник света, который он включил. Источник света излучает на длине волны $\lambda = 500$ *Нм* с мощностью $P = 0,1$ *Вт*. На каком наибольшем расстоянии этот источник света может увидеть человек, если его глаз реагирует на световой поток $n = 80$ фотонов в секунду и диаметр зрачка глаза $d = 0,5$ *см*? Поглощение и рассеяние света в воздухе не учитывать. Считать, что источник света излучает одинаково по всем направлениям.

Задача № 2

Во сколько раз собирающая линза диаметром $d_0 = 2$ *см* с фокусным расстоянием $F = 20$ *см* увеличивает освещённость Солнцем предмета, который находится в фокальной плоскости? Угловой размер Солнца $\alpha = 0,01$ (отношение диаметра Солнца к расстоянию до него от Земли). Отражение, поглощение и рассеяние света не учитывать.

Задача № 3

Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус r_3 третьего тёмного кольца Ньютона при наблюдении в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм равен *0,82 мм*. Радиус кривизны линзы $R = 0,5$ *м.*

Задача № 4

Какое наименьшее число N_{min} штрихов должна содержать дифракционная решётка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две жёлтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ *нм* и $\lambda_2 = 589,6$ *нм*? Какова длина l такой решётки, если постоянная решётки $d = 5$ *мкм*?

Задача № 5

Для обнаружения людей при проведении аварийно – спасательных работ используется датчик инфракрасного излучения. На какую длину волны он должен быть настроен? Считать излучение тела человека излучением абсолютно чёрного тела с температурой *37 °C*.

Задача № 6

При проведении пожарно – технической экспертизы необходимо идентифицировать неизвестную жидкость. Для этого определяется показатель её преломления рефрактометром. Пульфриха (рис.). При скользящем луче света на границу раздела двух сред (исследуемое вещество и эталонная стеклянная призма с показателем преломления $n_0 = 1,60$) угол выхода светового луча из призмы $\alpha = 34°C$. Определить показатель преломления света неизвестной жидкости и идентифицировать её, если коэффициенты преломлений возможных предполагаемых жидкостей следующие: $n_1 = 1,4224$ (диоксан), $n_2 = 1,4970$ (толуол), $n_3 = 1,4445$ (хлороформ), $n_4 = 1,4448$ (дихлорэтан), $n_5 = 1,3588$ (ацетон).

Задача № 7

Невозбуждённый атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны $\lambda = 102,6$ *нм*. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус r электронной орбиты возбуждённого атома водорода.

Задача № 8

Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ *сут* уменьшилась на *24%* по сравнению с первоначальной.

Вариант № 2

Задача № 1

Для подачи сигнала бедствия используется луч лазера, работающего на длине волны $\lambda = 630$ *Нм* с оптической мощностью $P = 3{\cdot}10^{-5}$ *Вт*. Считать, что его излучение имеет вид конуса с углом при вершине $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$ *рад* (угол расходимости) и поглощения излучения нет. На каком наибольшем расстоянии человек может увидеть этот свет, если его глаз реагирует *100* фотонов в секунду в секунду и диаметр зрачка человека $d = 0,5$ *см*?

Задача № 2

При каком наименьшем диаметре линзы с фокусным расстоянием $f = 20$ *см* можно, фокусируя солнечные лучи, поджечь деревянные доски? Считать, что освещённость, создаваемая прямыми солнечными лучами, $E_0 = 10^5$ *лк*, и для загорания дерева необходимо, чтобы на небольшом его участке была освещённость $E_{гор}= 4{\cdot}10^8$ *лк*. Угловой размер Солнца $\alpha = 0,01$.

Задача № 3

На тонкую плёнку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ *нм*. Отражённый от неё свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d_{min} плёнки, если показатель преломления материала плёнки $n = 1{,}4$.

Задача № 4

На поверхность дифракционной решётки нормально к её поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решётки в $n = 4{,}6$ *раза* больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

Задача № 5

Пластинку кварца толщиной $d = 2$ *мм* поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53°$. Какой наименьшей толщины d_{min} следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно тёмным?

Задача № 6

При проведении пожарно – технической экспертизы необходимо идентифицировать неизвестную жидкость. Для этого определяется показатель её преломления. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполняется этой жидкостью. Радиус третьего светового кольца $r = 3{,}51$ *мм*. Наблюдение ведётся в проходящем свете. Радиус кривизны $R = 10$ *м*. Длина волны света $\lambda = 600$ *Нм*. Определить коэффициент преломления жидкости и количественно идентифицировать её, если коэффициенты преломления предполагаемых жидкостей равны: $n_1 = 1{,}47$ (глицерин), $n_2 = 1{,}46$ (четырёххлористый углерод), $n_3 = 1{,}42$ (диоксан), $n_4 = 1{,}37$ (гексан).

Задача № 7

Вычислить по теории Бора радиус r_2 второй стационарной орбиты и скорость v_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

Задача № 8

Определить, какая доля радиоактивного изотопа $^{225}_{89}Ac$ распадается в течение времени $t = 6$ *сут*.

Вариант № 3

Задача № 1

На каком наибольшем расстоянии человек, находящийся на вертолёте, может увидеть в ночное время возникновение очага пожара в лесу? Считать, что воздух чистый и нет поглощения света, сила света возникшего очага пожара равна силе света папиросы при сильном затягивании $I_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ *кд*, наименьший световой поток, который воспринимается глазом, $\Phi_0 = 10^{-13}$ *лм*, площадь поверхности зрачка глаза в темноте $S = 0,4$ *см*^{2}.

Задача № 2

При расследовании причин пожара необходимо выяснить, могли ли осколки стекла при фокусировке солнечных лучей поджечь древесные опилки? Известно, что они могут загореться при фокусировке солнечных лучей линзой с фокусным расстоянием $f_1 = 10$ *см* и диаметром $d_1 = 5$ *см*. Считать, что те осколки стекла, которые могут фокусировать солнечный свет, являются линзами с фокусным расстоянием $f_2 = 5$*см* и диаметром $d_2 = 2,5$ *см*. Угловой размер Солнца $\alpha = 0,01$.

Задача № 3

Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно *1м*. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной $l = 1$*см* укладывается $N = 10$ тёмных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0,7$ *мкм*.

Задача № 4

На дифракционную решётку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвёртого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвёртого порядка накладывается граница ($\lambda = 780$ *нм*) спектра третьего порядка?

Задача № 5

Параллельный пучок света переходит от глицерина в стекло так, что пучок, отражённый от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным пучками.

Задача № 6

Температура абсолютно чёрного тела $T = 2$ *кК*. Определить длину волны λ_m, на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(r_{\lambda,r})_{max}$ для этой длины волны.

Задача № 7

Вычислить по теории Бора период T вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбуждённом состоянии, определяемом главным квантовым числом $n = 2$.

Задача № 8

Активность A некоторого изотопа за время $t = 10$ *сут* уменьшилась на *20%*. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

Вариант № 4

Задача № 1

При проведении поисково – спасательных работ в ночное время необходимо обнаружить пострадавшего человека, который включил аварийную сигнализацию с силой света I = 1кд. На каком наибольшем расстоянии его может обнаружить спасатель, если наименьший световой поток, который может обнаружить человек невооружённым глазом, $\Phi_0 = 10^{-13}$ лм. Поглощение и рассеяние света в воздухе не учитывать. Площадь поверхности зрачка глаза в темноте S = 0,4 см^2.

Задача № 2

На сухом торфе находится капля воды диаметром d = 4 мм, которая как линза обладает фокусным расстоянием f = 12 мм. Может ли она вызвать загорание торфа при появлении из-за туч Солнца? Считать, что освещённость, создаваемая прямыми солнечными лучами, $E_0 = 10^5$ лк, угловой размер Солнца α = 0,01, и торф загорается при наименьшей освещённости $E_{гор} = 10^8$ лк (рис.)

Задача № 3

На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 500$ *нм*. Найти радиус R линзы, если радиус четвёртого, тёмного кольца Ньютона в отражённом свете $r_4 = 2$ *мм*.

Задача № 4

На дифракционную решётку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещённой вблизи решётки линзой на экран. Определить длину l спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1,2$ *м*. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр} = 780$ *нм*, $\lambda_ф = 400$ *нм*.

Задача № 5

Кварцевую пластинку поместили между скрещёнными николями. При какой наименьшей толщине d_{min} кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения α кварца равна *27 град/мм.*

Задача № 6

Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 600$ *нм.*

Задача № 7

Определить изменение энергии ΔE электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с частотой $\nu = 6{,}28 \cdot 10^{14}$ *Гц.*

Задача № 8

Определить массу m изотопа $^{131}_{53}I$, имеющего активность $A = 37$ *ГБк.*

Вариант № 5.

Задача № 1

Можно ли обнаружить на фотоснимке, сделанном со спутника фотокамерой с фокусным расстоянием $f = 15$ *см*, трещины на трубах, по которым подаётся газ. Спутник летит на высоте $H = 150$ *км*, диаметр трубы газопровода $D = 1{,}5$ *м*, разрешающая способность фотоплёнки $d = 0{,}01$*мкм.*

Задача № 2.

При расследовании причин пожара в чердачном помещении обнаружена линза диаметром $d = 12$ *см* с фокусным расстоянием $f = 12$ *см.* Могла ли эта линза быть использована в дневное время для поджога древесных стружек, находящихся на чердаке? Освещённость создаваемая прямыми солнечными лучами $E_0 = 10^5$ *лк,* для загорания древесных стружек необходима наименьшая освещённость на небольшом участке $E_{гор} = 10^8$ *лк.* Угловой размер Солнца $\alpha = 0{,}01$ (рис.).

Задача № 3

На тонкую глицериновую плёнку толщиной $d = 1{,}5$ *мкм* нормально к её поверхности падает белый свет. Определить длины волн λ лучей видимого участка спектра *(*$0{,}4 \le \lambda \le 0{,}8$ *мкм),* которые будут ослаблены в результате интерференции.

Задача № 4

На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна *(λ = 600 нм)*. Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 20°$. Определить ширину α щели.

Задача № 5

При прохождении света через трубку длиной $l_1 = 20$ *см,* содержащую раствор сахара концентрацией $C_1 = 10\%$, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 13{,}3°$. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной $l_2 = 15$ *см*, плоскость поляризации повернулась на угол $\varphi_2 = 5{,}2°$. Определить концентрацию C_2 второго раствора.

Задача № 6

Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра *($\lambda_{m1} = 780$ нм)* на фиолетовую *($\lambda_{m2} = 390$ нм)*?

Задача № 7

Во сколько раз изменится период T вращения электрона в атоме водорода, если при переходе в невозбуждённое состояние атом излучил фотон с длиной волны $\lambda = 97{,}5$ *нм*?

Задача № 8

Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта $^{60}_{27}Co$.

Вариант № 6

Задача № 1

Для проведения поисково-спасательных работ по обнаружению людей на море используется спутник, который летит на высоте $H = 150$ *км* и имеет фотокамеру с фокусным расстоянием объектива $f = 15$ *см.* Предполагается, что люди находятся на спасательном плоту длиной $l = 3$ *м*. Какой разрешающей способностью должна обладать фотоплёнка, чтобы на снимке можно было увидеть людей на плоту?

Задача № 2

При расследовании причин лесного пожара была обнаружена линза диаметром $d = 6$ *см* с фокусным расстоянием $f = 30$ *см.* Могла ли она вызвать при фокусировке солнечных лучей загорание сухой травы и быть причиной пожара? Освещённость, создаваемая прямыми солнечными лучами, $E_0 = 10^5$ *лк,* угловой размер Солнца $\alpha = 0{,}01$. Наименьшая освещённость сухой травы, при которой она загорается, $E_{гор} = 7 \cdot 10^7$ *лк.*

Задача № 3

На стеклянную пластину нанесён тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n = 1{,}3$. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны $\lambda = 640$ *нм*, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d_{min} должен иметь слой, чтобы отражённый пучок имел наименьшую яркость?

Задача № 4

На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ *нм*). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 20°$. Определить ширину α щели.

Задача № 5

Угол падения ε луча на поверхность стекла равен $60°$. При этом отражённый пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол ε_2 преломления луча.

Задача № 6

Поток излучения абсолютно чёрного тела $\Phi = 10$ *кВт.* Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 0{,}8$ *мкм.* Определить площадь S излучающей поверхности.

Задача № 7

На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 435$ *нм*?

Задача № 8

Счётчик α – частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом изменении регистрировал $N_1 = 1400$ частиц в минуту, а через время $t = 4$ *ч* – только $N_2 = 400$. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

Вариант № 7

Задача № 1

При проведении подводных аварийно – спасательных работ используется источник света. При прохождении лучом света расстояния *50 см.* его интенсивность уменьшается на *10%.* На сколько процентов уменьшится интенсивность луча, если свет пройдёт расстояние *1,5 м*? Считать, что вода имеет однородные оптические свойства.

Задача № 2

Известна легенда о том, что греческие воины по совету Архимеда сожгли деревянные корабли римлян, направив на них солнечные лучи, отражённые от щитов. Определить (оценить) число воинов, если освещённость корабля для его загорания $E_{гор} = 2 \cdot 10^8$ *лк*, освещённость, создаваемая прямыми солнечными лучами, $E_0 = 10^5$ *лк*. Рассмотреть два случая:

а) щиты плоские, коэффициент отражения от них света $к = 0,5$;

б) щиты вогнутые с радиусом кривизны $R = 50$ *м* и диаметром $d = 25$ *см, 50%* падающего на них света формируют изображение Солнца.

Задача № 3

На тонкий стеклянный клин падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ *нм*. Расстояние между соседними тёмными интерференционными полосами в отражённом свете $b = 0,5$ *мм.* Определить угол α между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин, $n = 1,6$.

Задача № 4

На дифракционную решётку, содержащую n = *100* штрихов на *1 мм,* нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, её нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 16°$. Определить длину волны λ света, падающего на решётку.

Задача № 5

Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен *50°*. Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

Задача № 6

Поток излучения абсолютно чёрного тела $Ф = 10$ *кВт*. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 0{,}8$ *мкм*. Определить площадь S излучающей поверхности.

Задача № 7

В каких пределах $\Delta\lambda$ должна лежать длина волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус r орбиты электрона увеличился в *16* раз?

Задача № 8

Во сколько раз уменьшится активность изотопа $^{32}_{15}P$ через время $t = 20$ *сут*?

Вариант № 8

Задача № 1

При аэрофотосъёмке лесного пожара с высоты *5 км* используется объектив с фокусным расстоянием *10 см* и диаметром *3 см.* Съёмка производится на фотоплёнку, имеющую разрешающую способность *50* линий на миллиметр. Определить, какие наименьшие детали местности могут быть видны на фотографии.

Задача № 2

Какое должна быть фокусное расстояние у линзы диаметром $d = 10$ *см*, чтобы можно было зажечь сухую траву? Источником света является Солнце, его угловой размер $\alpha = 0{,}01$. Считать, что для загорания необходимо, чтобы на небольшом его участке был создан световой поток $E_{гор} = 9\cdot10^7$ *лк*. Освещённость, создаваемая прямыми солнечными лучами $E_0 = 10^5$ *лк*. Потери света в линзе не учитывать.

Задача № 3

Плосковыпуклая стеклянная линза с $f = 1$ *м* лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете $r_5 = 1{,}1$ *мм*. Определить длину световой волны λ.

Задача № 4

На дифракционную решётку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 410$ *нм*). Угол $\Delta\varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядка равен $2°21'$. Определить число n штрихов на *1мм* дифракционной решётки.

Задача № 5

Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле ε падения отражённый пучок света максимально поляризован?

Задача № 6

Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{m1} = 780$ *нм*) на фиолетовую ($\lambda_{m2} = 390$ *нм*)?

Задача № 7

В однозарядном ионе лития электрон перешёл с четвёртого энергетического уровня на второй. Определить длину волны λ излучения, испущенного ионом лития.

Задача № 8

На сколько процентов уменьшится активность изотопа иридия $^{192}_{77}Ir$ за время $t = 15$ *сут*?

Вариант № 9

Задача № 1

В задымленном помещении интенсивность луча света при прохождении расстояния *3 м* уменьшается в *3 раза*. Во сколько раз она уменьшится при прохождении расстояния *9 м*? Считать, что дым равномерно распределяется по объёму помещения.

Задача № 2

Кусок дерева загорается при фокусировании солнечных лучей линзой с фокусным расстоянием $f_1 = 15$ *см* и диаметром $d_1 = 10$ *см*. Какой должен быть наименьший диаметр у линзы с фокусным расстоянием $f_2 = 5$ *см* чтобы достичь того же эффекта?

Задача № 3

Между двумя плоскопараллельными пластинами на расстоянии $L = 10$ *см* от границы их соприкосновения находится проволока диаметром $d = 0{,}01$ *мм,* образуя воздушный клин. Пластины освещаются нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 0{,}6$ *мкм*). Определить ширину b интерференционных полос, наблюдаемых в отражённом свете.

Задача № 4

Постоянная дифракционная решётка в $n = 4$ *раза* больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на его поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

Задача № 5

Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен $50°$. Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

Задача № 6

Определить поглощательную способность a_r для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{рад} = 1{,}4$ *кК*, тогда как истинная температура T тела равна $3{,}2$ *кК*.

Задача № 7

Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую T, потенциальную $П$ и полную E энергию электрона. Ответ выразить в электрон – вольтах.

Задача № 8

Определить число N ядер, распадающихся в течении времени: 1) $t_1 = 1$ *мин*; 2) $t_2 = 5$ *сут*, - в радиоактивном изотопе фосфора ${}^{32}_{15}P$ массой $m = 1$ *мг*.

Вариант № 10

Задача № 1

Для автоматического извещения о наличии дыма используется луч лазера, который проходит через все помещения и регистрируется датчиком. Если луч проходит в дыме *20 м*, то его интенсивность уменьшается на *5%*. Какое расстояние должен пройти луч в этом дыме, чтобы его интенсивность уменьшилась в два раза? Считать, что воздух не рассеивает и не поглощает излучение лазера, оптические свойства дыма однородны.

Задача № 2

На сухом торфе находится капля сферической формы. Диаметр капли равен *3 мм*, показатель преломления воды равен *1,3*. Угловой размер Солнца равен *0,01 рад*. При какой освещённости солнечными лучами возможно загорание торфа? Считать, что торф может загореться при создании освещённости $1{,}5\cdot10^8$ *лк*. Поглощение и рассеяние света в воде не учитывать. Каплю считать идеальной линзой.

Задача № 3

Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 590$ *нм*). Радиус кривизны R линзы равен *5 см*. Определить толщину d_3 воздушного промежутка в том месте, где в отражённом свете наблюдается третье светлое кольцо.

Задача № 4

Расстояние между штрихами дифракционной решётки $d = 4$ *мкм*. На решётку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0{,}58$ *мкм*. Максимум какого наибольшего порядка даёт эта решётка?

Задача № 5

Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле ε падения отражённый пучок света максимально поляризован?

Задача № 6

Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1$ *кВт*, имеет отверстие площадью $S = 100$ *см*^{2}. Определить долю η мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура её внутренней поверхности равна *1 кК*.

Задача № 7

Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией $T = 10$ *эВ*. Определить энергию ε фотона.

Задача № 8

Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается *200* атомов. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Электростатика и постоянный ток

Пример 1. Два параллельных бесконечно длинных провода *D* и *C*, по которым текут в одном направлении электрические токи силой *I = 60 А*, расположены на расстоянии *d = 10 см* друг от друга. Определить магнитную индукцию *B* поля, создаваемого проводниками с током в точке *A*, отстоящей от оси одного проводника на расстоянии r_1 *= 5 см*, от другого - r_2 = *12 см*.

Решение. Для нахождения магнитной индукции *B* в точке *A* воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направление магнитных индукции B_1 и B_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их геометрически;

$$B = B_1 + B_2$$

Модуль вектора В может быть найден по теореме косинусов;

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha} \quad (1)$$

где α – угол между векторами B_1 и B_2.

Магнитные индукции B_1 и B_2 выражаются соответственно через силу тока *I* и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки *A*:

$$B_1 = \mu_0 I/(2\pi r_1);$$

$$B_2 = \mu_0 I/(2\pi r_2).$$

Подставляя выражения 1 и 2 в формулу (1) и вынося $\mu_0 I/(2\pi)$ за знак корня, получаем

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1r_2}\cos\alpha} \quad (2)$$

Вычислим $cos\ \alpha$. Заметив, что $\alpha = \angle DAC$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами), по теореме косинусов запишем

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\alpha$$

где *d* – расстояние между проводами. Отсюда

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2};$$

$$\cos\alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2\cdot 5\cdot 12} = \frac{23}{40}$$

Подставим в формулу (2) числовые значения физических величин и произведём вычисления:

$$B=\frac{4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\cdot 60}{2\cdot 3{,}14}\sqrt{\frac{1}{(0{,}05)^2}+\frac{1}{(0{,}12)^2}\cdot\frac{2}{0{,}05\cdot 0{,}12}\cdot\frac{23}{40}}=3{,}08\cdot 10^{-4}\,Тл=308\,мкТл..$$

Ответ: магнитная индукция поля *B = 308 мкТл.*

Пример 2. По тонкому проводящему кольцу радиусом *R = 10 см* течёт ток *I = 80 А*. Найти магнитную индукцию *B* в точке *A*, равноудалённой от всех точек кольца на расстояние r = 20 см.

Решение. Для решения задачи воспользуемся законом Био – Савара – Лапласа:

$$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I[dlr]}{r^2}$$

где *dB* – магнитная индукция поля, создаваемого элементом тока *Idl* в точке, определяемой радиусом – вектором r.

Выделим на конце элемент *dl* и от него в точку *A* проведём радиус - вектор *r*. Вектор *dB* направим в соответствии с правилом буравчика.

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, магнитная индукция *B* в точке *A* определяется интегрированием:

$$B=\int_l dB$$

где интегрирование ведётся по всем элементам *dl* кольца.

Разложим вектор *dB* на две составляющие: $dB_\perp$, перпендикулярную плоскости кольца, и $dB_\parallel$, параллельную плоскости кольца, т.е.

$$dB= dB_\perp+ dB_\parallel$$

Тогда

$$B=\int_l dB_\perp+\int_l dB_\parallel$$

Заметив, что $\int_l dB_\parallel = 0$ из соображений симметрии и что векторы $dB_\perp$ от различных элементов *dl* сонаправлены, заменим векторное суммирование (интегрирование) скалярным:

$$B=\int_l dB_\perp$$

где $dB_\perp = dB\cos\beta$ и $dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl}{r^2}$ (поскольку *dl* перпендикулярен *r* и, следовательно, $\sin\alpha = 1$). Таким образом,

$$B=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r^2}\cos\beta\int_0^{2\pi k}dl=\frac{\mu_0 I\cos\beta\cdot 2\pi R}{4\pi r^2}$$

После сокращения на 2π и замены $\cos\beta$ на R/r получим

$$B=\frac{\mu_0 IR^2}{2r^3}$$

Проверим, даёт ли правая часть равенства единицу магнитной индукции (Тл):

$$\frac{[\mu_0][I][R^2]}{[r^3]} = \frac{1Гн \cdot 1А \cdot 1м^2}{м \cdot 1м^3} = \frac{1Гн \cdot 1А^2}{1А \cdot 1м^2} = \frac{1Дж}{1А \cdot 1м^2} = \frac{1Н \cdot 1м}{1А \cdot 1м^2} = 1Тл.$$

Здесь мы воспользовались определяющей формулой для магнитной индукции:

$$B = \frac{M_{\max}}{p}$$

Тогда

$$1Тл = \frac{1Н \cdot 1м}{1А \cdot 1м^2}$$

Выразим все величины в единицах СИ и произведём вычисления:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 80 \cdot (0{,}1)^2}{2 \cdot (0{,}2)^3} = 6{,}28 \cdot 10^{-5} Тл, \quad \text{или} \quad B = 62{,}8 мкТл$$

Ответ: магнитная индукция в точке A равна $B = 62{,}8 мкТл$.

Пример 3. По двум параллельным прямым проводам длиной $l = 2{,}5$ *м* каждый, находящимися на расстоянии $d = 20$ *см* друг от друга, текут одинаковые токи $I = 1$ *кА*. Вычислить силу взаимодействия токов.

Решение. Взаимодействие двух проводов, по которым текут токи, осуществляется через магнитное поле. Каждый ток создаёт магнитное поле, которое действует на другой провод.

Предположим, что оба тока (обозначим их для удобства I_1 и I_2) текут в одном направлении. Ток I_1 создаёт в месте расположения второго провода (с током I_2) магнитное поле.

Проведём линию магнитной индукции через второй провод и по касательной к ней – вектор магнитной индукции B_1. Модуль магнитной индукции B_1 определяется соотношением

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (1)$$

Согласно закону Ампера, на каждый элемент второго провода с током I_2 длиной dl действует в магнитном поле сила

$$dF = I_2 B_1 dl \sin(dlB)$$

Так как вектор dl перпендикулярен вектору B_1, то $\sin(dlB) = 1$ и тогда

$$dF = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} dl$$

Силу F взаимодействия проводов с током найдём интегрированием:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \int_0^l dl = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l$$

Заметив, что $I_1 = I_2 = I$, получим,

$$F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d}$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства даёт единицу силы (Н):

$$\frac{[\mu_0][I^2][l]}{d} = \frac{1 Гн/м \cdot (1A)^2 \cdot 1м}{1м} = \frac{1 Дж}{1м} = 1H$$

Произведём вычисления:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \left(10^3\right)^2 \cdot 2{,}5}{2\pi \cdot 0{,}2} = 2{,}5H$$

Сила F сонаправлена с силой dF и определяется (в данном случае проще) правилом левой руки.

Ответ: сила взаимодействия токов $F = 2{,}5$ Н.

Пример 4. Электрон, влетев в однородное магнитное поле ($B = 0{,}2$ Тл), стал двигаться по окружности радиуса $R = 5$ см. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

Решение. Электрон начинает двигаться по окружности, если он влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. На рис. ___ линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости чертежа и направлены «от нас» (обозначены крестиками).

Движение электрона по окружности эквивалентно круговому току, который в данном случае определяется выражением

$$I_{экв} = \frac{|e|}{T}$$

где e – заряд электрона; T – период его обращения.

Период обращения можно выразить через скорость электрона v и путь, проходимый электроном за период $T = v/(2\pi R)$. Тогда

$$I_{экв} = |e| v / (2\pi R)$$

Зная $I_{экв}$, найдём магнитный момент эквивалентного кругового тока. По определению, магнитный момент контура с током выражается соотношением

$$p_m = I_{экв} S \quad (2)$$

где S – площадь, ограниченная окружностью, описываемой электроном ($S = \pi R^2$).

Подставив $I_{экв}$ из (1) в выражение (2), получим

$$p_m = \frac{|e| v}{2\pi R} \pi R^2$$

Сократим на πR и перепишем это выражение в виде:

$$p_m = \frac{1}{2}|e|vR \quad (3)$$

В полученном выражении известной является скорость электрона, которая связана с радиусом R окружности, по которой он движется, соотношением $R = mv/(QB)$. Заменив Q на $|e|$, найдём интересующую нас скорость $v = |e|\,BR/m$ и подставим её в формулу (3):

$$p_m = \frac{|e^2|\,BR^2}{2m}$$

Убедимся в том, что правая часть равенства даёт единицу магнитного момента ($A \cdot м^2$):

$$\frac{[e^2][B][R^2]}{[m]} = \frac{(1Кл)^2 \cdot 1Тл \cdot (1м)^2}{1кг} = \frac{(1Кл)^2 \cdot 1Н}{1кг \cdot 1А \cdot м} = \frac{(1А)^2 \cdot с^2 \cdot кг \cdot м \cdot м^2}{1А \cdot м \cdot кг \cdot с^2} = 1А \cdot м^2$$

Произведём вычисления:

$$p_m = \frac{\left(1{,}6 \cdot 10^{-19}\right)^2 \cdot 0{,}2 \cdot (0{,}05)^2}{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}} = 7{,}03 \cdot 10^{-12}\, А \cdot м^2 = 7{,}03 nА \cdot м^2$$

Ответ: магнитный момент эквивалентного кругового тока $p_m = 7{,}03\ nА \cdot м^2$.

Пример 5. Короткая катушка, содержащая $N = 10^3$ витков, равномерно вращается с частотой $n = 10\ с^{-1}$ относительно оси AB, лежащей в плоскости катушки и перпендикулярной линиям однородного магнитного поля ($B = 0{,}04$ Тл). Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол $\alpha = 60°$ с линиями поля. Площадь S катушки равна $100\ см^2$.

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции ξ_i определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея – Максвелла:

$$\xi_i = -\frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

Потокосцепление $\Psi = N\Phi$, где N – число витков катушки, пронизываемых магнитным потоком Φ. Подставив выражение Ψ в формулу (1), получим

$$\xi_i = -N\frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

При вращении катушки магнитный поток Φ, пронизывающий катушку в момент времени t, изменяется по закону $\Phi = BS\cos\omega t$, где B – магнитная индукция; S – площадь катушки; ω – угловая скорость катушки. Подставив в формулу (2) выражение магнитного потока Φ и продифференцировав по времени, найдём мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\xi_i = NBS\omega \sin \omega t$$

Заметив, что угловая скорость ω связана с частотой вращения n катушки соотношением $\omega = 2\pi n$ и что угол $\omega t = \pi/2 - \alpha$ (рис. __), получим (учтено, что $\sin(\pi/2 - \alpha) = \cos\alpha$)

$$\xi_i = 2\pi n N B S \cos\alpha$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства даёт единицу ЭДС (В):

$$[n][B][S] = \frac{1Тл \cdot 1м^2}{1c} = \frac{1Н \cdot 1м^2}{1А \cdot м \cdot c} = \frac{1Дж}{1Кл} = 1В$$

Произведём вычисления:

$$\xi_i = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}04 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}5 = 25{,}1В$$

Ответ: мгновенное значение ЭДС индукции $\xi_i = 25{,}1$ *В*.

Пример 6. Квадратная проволочная рамка со сторонами $a = 5$ *см* и сопротивлением $R = 10$ *мОм* находится в однородном магнитном поле ($B = 40$ *мТл*). Нормаль к плоскости рамки составляет угол $\alpha = 30°$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд Q, который пройдёт по рамке, если магнитное поле выключить.

Решение. При выключении магнитного поля произойдёт изменение магнитного потока. Вследствие этого в рамке возникнет ЭДС индукции, определяемая основным законом электромагнитной индукции

$$\xi_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Возникшая ЭДС индукции вызовет в рамке индукционный ток, мгновенное значение которого можно определить воспользовавшись законом Ома для полной цепи $I_i = \xi_i/R$, где R – сопротивление рамки. Тогда

$$I_i R = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Так как мгновенное значение силы индукционного тока $I_i = \dfrac{dQ}{dt}$, то это выражение можно переписать в виде

$$\frac{dQ}{dt}R = -\frac{d\Phi}{dt}, \text{ откуда } dQ = -\frac{d\Phi}{R} \quad (1)$$

Проинтегрировав выражение (1), найдём

$$\int_0^Q dQ = -\frac{1}{R}\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi, \text{ или } Q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$$

Заметив, что при выключенном поле (конечное состояние) $\Phi_2 = 0$, последнее равенство перепишется в виде

$$Q = \phi_1 / R \quad (2)$$

Найдём магнитный поток Φ_1. По определению магнитного потока имеем

$$\Phi_1 = BS\cos\alpha$$

где S – площадь рамки.

В нашем случае (рамка квадратная) $S = a^2$. Тогда

$$\Phi_1 = Ba^2\cos\alpha \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим

$$Q = \frac{Ba^2}{R}\cos\alpha$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства даёт единицу заряда (Кл):

$$\frac{[B][a^2]}{R} = \frac{1Тл\cdot(1м^2)}{1Ом} = \frac{1Н\cdot м^2}{1А\cdot м\cdot Ом} = \frac{1Дж}{1В} = 1Кл$$

Произведём вычисления:

$$Q = \frac{0{,}04\cdot 25\cdot 10^{-4}\cdot\sqrt{3/2}}{0{,}01} = 8{,}67\cdot 10^{-3}Кл = 8{,}67мКл$$

Ответ: заряд, который пройдёт по рамке, если магнитное поле выключить $Q = 8{,}67$ *мКл.*

Пример 7. Плоский квадратный контур со стороной $a = 10$ *см*, по которому течёт ток $I = 100$ *А*, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1$ *Тл*). Определить работу A, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1) $\varphi_1 = 90°$; 2) $\varphi_2 = 3°$. При повороте контура сила тока в нём поддерживается неизменной.

Решение. Как известно, на контур с током в магнитном поле действует момент силы (рис. __).

$$M = p_m B\sin\varphi \quad (1)$$

где $p_m = IS = Ia^2$ – магнитный момент контура; B – магнитная индукция; φ – угол между векторами p_m (направлен по нормали к контуру) и B.

По условия задачи в начальном положении контур свободно установился в магнитное поле. При этом момент силы равен нулю ($M = 0$), а значит, $\varphi = 0$, т.е. векторы p_m и B сонаправлены. Если внешние силы выведут контур из положения равновесия, то возникший момент сил будет стремиться возвратить в исходное положение. Против этого момента и будет совершаться работа внешними силами. Так как момент сил переменной (зависит от угла поворота φ), то для подсчёта работы применим формулу работы в дифференциальной форме $dA = Md\varphi$. Учитывая формулу (1), получаем

$$dA = IBa^2\sin\varphi d\varphi$$

Взяв интеграл от этого выражения, найдём работу при повороте наконечный угол:

$$A = IBa^2 \int_0^{\varphi} \sin\varphi d\varphi \quad (2)$$

Работа при повороте на угол $\varphi_1 = 90°$

$$A_1 = IBa^2 \int_0^{\pi/2} \sin\varphi d\varphi = IBa^2 \left|(-\cos\varphi)\right|_0^{\pi/2} = IBa^2 \quad (3)$$

Выразим числовые значения величин в единицах СИ ($I_1 = 100\ A,\ B = 1Тл,\ a = 10\ см = 0{,}1\ м$) и подставим в (3):

$$A_1 = 100 \cdot 1 \cdot (0{,}1)^2 = 1Дж$$

Работа при повороте на угол $\varphi_2 = 3°$. В этом случае, учитывая, что угол φ_2 мал, заменим в выражении (2) $sin\ \varphi \approx \varphi$:

$$A_2 = IBa^2 \int_0^{\varphi_2} \varphi d\varphi = \frac{1}{2} IBa^2 \varphi_2^2 \quad (4)$$

Выразим угол φ_2 в радианах. После подстановки числовых значений величин в (4) найдём

$$A_2 = \frac{1}{2} 100 \cdot 1 \cdot (0{,}1)^2 \cdot (0{,}0523)^2 = 1{,}37 \cdot 10^{-3}\ Дж = 1{,}37 мДж$$

Задачу можно решить и другими способами:

1. Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока, пронизывающего контур:

$$A = -I\Delta\Phi = I(\Phi_1 - \Phi_2)$$

где Φ_1 – магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения; Φ_2 – то же, после перемещения.

Если $\varphi_1 = 90°$, то $\Phi_1 = BS,\ \Phi_2 = 0$. Следовательно,

$$A = IBS = IBa^2$$

что совпадает с (3).

2. Воспользуемся выражением для механической потенциальной энергии контура с током в магнитном поле

$$\Pi(\varphi) = -p_m B \cos\varphi$$

Тогда работа внешних сил

$$A = \Delta\Pi = \Pi_2 - \Pi_1$$

или

$$A = p_m B(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)$$

Так как $p_m = Ia^2,\ cos\ \varphi_1 = I$ и $cos\ \varphi_2 = 0$, то

$$A = IBa^2$$

что тоже совпадает с (3).

Ответ: работ A, совершаемая внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1) $\varphi_1 = 90°$, $A_1 = 1$ *Дж*; 2) $\varphi_2 = 3°$, $A_2 = 1,37$ *мДж.*

Пример 8. Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит $N = 1200$ витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока $I = 4$ *А* магнитный поток $\Phi = 6$ *мкВб*. Определить индуктивность L соленоида и энергию W магнитного поля соленоида.

Решение. Индуктивность L связана с потокосцеплением ψ и силой тока I соотношением

$$\psi = LI \quad (1)$$

Потокосцепление, в свою очередь, может быть определено через поток Φ и число витков N (при условии, что витки плотно прилегают друг к другу):

$$\psi = N\Phi \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) находим индуктивность соленоида:

$$L = N\Phi / I \quad (3)$$

Энергия магнитного поля соленоида

$$W = 1/2LI^2$$

Выразив L согласно (3), получим

$$W = 1/2N\Phi I \quad (4)$$

Подставим в формулы (3) и (4) значения физических величин и произведём вычисления:

$$L = \frac{1,2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,8 \cdot 10^{-3}\,Гн = 1,8мГн$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 1,44 \cdot 10^{-2}\,Дж = 14,4мДж$$

Ответ: индуктивность соленоида $L = 1,8$ *мГн*, энергия магнитного поля соленоида $W = 14,4$ *мДж.*

ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ И ЯДРА

Примеры решения задач

Пример 1. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6$ *мкм.* Число m возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на отрезок клина длиной l, равно *10*. Определить угол α клина.

Решение. Параллельный пучок света, падая нормально к грани клина, отражается как от верхней, так и от нижней грани. Эти отражённые пучки света когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Так как угол клина мал, то отражённые пучки 1 и 2 света (рис. __) будут практически параллельны.

Тёмные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечётному числу половин длин волн:

$$\Delta = (2\kappa + 1)\lambda / 2 \quad (\kappa = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

Разность хода Δ двух волн складывается из разности оптических длин путей этих волн ($2dncos\varepsilon_2'$) и половины длины волны ($\lambda/2$). Величина $\lambda/2$ представляет собой добавочную разность хода, возникающую при отражении световой волны 1 от оптически более плотной среды. Подставляя в формулу (1) разность хода Δ световых волн, получаем

$$2d_k n \cos\varepsilon_2' + \lambda / 2 = (2\kappa + 1)\lambda / 2 \quad (2)$$

где n – показатель преломления стекла ($n = 1,5$); d_k – толщина клина в том месте, где наблюдается тёмная полоса, соответствующая номеру κ; ε_2' - угол преломления.

Согласно условию, угол преломления равен нулю; следовательно, и угол преломления ε_2' равен нулю, а $cos\,\varepsilon_2'$ = 1. Раскрыв скобки в правой части равенства (2), после упрощения получим

$$2d_k n = k\lambda \quad (3)$$

Пусть произвольной тёмной полосе κ –го соответствует толщина d_k клина, а тёмной полосе $k + m$ – го номера – толщина d_{k+m} клина. Тогда (рис. __), учитывая, что m полос укладывается на расстоянии l, найдём:

$$\sin\alpha = (d_{k+m} - d_k)/l \quad (4)$$

Выразим из (3) d_k и d_{k+m} и подставим их в формулу (4). Затем, учитывая, что $sin\alpha = \alpha$ (из-за малости угла α), получим

$$\alpha = \frac{(k+m)\lambda - k\lambda}{2nl} = \frac{m\lambda}{2nl}$$

Подставляя значения физических величин, найдём

$$\alpha = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,5 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-4}\,рад$$

Выразим α в секундах. Для этого можно воспользоваться соотношением между радианом и секундой:

$$1\,рад = 206265'' \approx 2,06 \cdot 10^{5''}$$

Тогда

$$\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,06 \cdot 10^{5''} = 41,2''$$

Ответ: угол клина $\alpha = 41,2''$.

Пример 2. На дифракционную решётку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет. Период решётки $d = 2$ *мкм*. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который даёт эта решётка в случае красного ($\lambda_1 = 0,7$ *мкм*) и в случае фиолетового ($\lambda_2 = 0,41$*мкм*) света.

Решение. Из формулы, определяющей положение главных максимумов дифракционной решётки, найдём порядок m дифракционного максимума:

$$m = (d \sin\varphi)/\lambda \quad (1)$$

где d – период решётки; φ – угол дифракции; λ – длина волны монохроматического света. Так как $sin\ \varphi$ не может быть больше 1 , то число m не может быть больше d/λ, т.е.

$$m \le d/\lambda \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) значения величин, получим:

$$m \le 2/0{,}7 = 2{,}86 \quad \text{(для красных лучей);}$$

$$m \le 2/0{,}41 = 4{,}88 \quad \text{(для фиолетовых лучей)}$$

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_{max} = 2$ и для фиолетового $m_{max} = 4$.

Ответ: наибольший порядок дифракционного максимума решётки в случае красного света $m_{max} = 2$ и в случае фиолетового света $m_{max} = 4$.

Пример 7. Электрон в атоме водорода перешёл с четвёртого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

Решение. Для определения энергии фотона воспользуемся сериальной формулой для водородоподобных ионов:

$$1/\lambda = RZ^2\left(1/n_1^2 - 1/n_2^2\right) \quad (1)$$

где λ – длина волны фотона; R – постоянная Ридберга; Z – заряд ядра в относительных единицах (при $Z = 1$ формула переходит в сериальную формулу для водорода); n_1 – номер орбиты, на которую перешёл электрон; n_2 – номер орбиты, с которой перешёл электрон (n_1 и n_2 – главные квантовые числа).

Энергия фотона ε выражается формулой

$$\varepsilon = hc/\lambda$$

Поэтому, умножив обе части равенства (1) на hc, получим выражение для энергии фотона:

$$\varepsilon = RhcZ^2\left(1/n_1^2 - 1/n_2^2\right)$$

Так как Rhc есть энергия ионизации E_i атома водорода, то

$$\varepsilon = E_i Z^2\left(1/n_1^2 - 1/n_2^2\right)$$

Вычисления выполним по внесистемных единицах: $E_i = 13{,}6$ *эВ; Z = 1;* $n_1 = 2$; $n_2 = 4$:

$$\varepsilon = 13{,}6 \cdot 1^2\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) = 13{,}6 \cdot 3/16 = 2{,}55 эВ$$

Ответ: энергия испущенного фотона $\varepsilon = 2{,}55$ *эВ*.

Пример 8. Определить начальную активность A_0 радиоактивного препарата магния ^{27}Mg массой $m = 0{,}2$ *мкг*, а также его активность A через время $t = 6$ *ч.* Период полураспада $T_{1/2}$ магния считать известным.

Решение. Активность A изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется отношением числа dN ядер, распавшихся за интервал времени dt, к этому интервалу:

$$A = -dN/dt \quad (1)$$

Знак «-» показывает, что число N радиоактивных ядер с течением времени убывает.

Для того чтобы найти dN/dt, воспользуемся законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

где N – число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, в момент времени t; N_0 - число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начальный ($t = 0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени:

$$dN/dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Исключив из формул (1) и (3) dN/dt, находим активность препарата в момент времени t:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Начальную активность A_0 препарата получим при $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (5)$$

Постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением

$$\lambda = (\ln 2)/T_{1/2} \quad (6)$$

Число N_0 радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, равно произведению постоянной Авогадро N_A на количество вещества v данного изотопа:

$$N_0 = vN_A = \frac{m}{M}N_A \quad (7)$$

где m – масса изотопа; M – молярная масса.

С учётом выражений (6) и (7) формулы (5) и (4) принимают вид

$$A_0 = \frac{m}{M}\frac{\ln 2}{T_{1/2}}N_A \quad (8)$$

$$A = \frac{m}{M}\frac{\ln 2}{T_{1/2}}N_A e^{\frac{\ln 2}{T_{1/2}}} \quad (9)$$

Произведём вычисления, учитывая, что $T_{1/2} = 10$ *мин* $= 600$ *с*, $\ln 2 = 0{,}693$, $t = 6$ *ч* $= 6 \cdot 3{,}6 \cdot 10^3$ *с* $= 2{,}16 \cdot 10^4$ *с*:

$$A_0 = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}}\frac{0{,}693}{600}6{,}02 \cdot 10^{23} = 5{,}13 \cdot 10^{12}\,Бк = 5{,}13\,ТБк$$

$$A = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}}\frac{0{,}693}{600}6{,}02 \cdot 10^{23} e^{-\frac{0{,}693}{600}\cdot 2{,}16 \cdot 10^4} = 81{,}3\,Бк$$

Ответ: начальная активность радиоактивного препарата магния $A_0 = 5{,}13$ *ТБк,* его активность через время $t = 6$ *ч,* $A = 81{,}3$ Бк.

Приложение 3

Основные физические постоянные (округлённые значения) Таблица 1

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Стандартный объём*	V_m	$22{,}4\cdot10^{-3}$ м^3/моль
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1{,}60\cdot10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3{,}00\cdot10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана – Больцмана	σ	$5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2·К^2)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2{,}90\cdot10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1{,}10\cdot10^{7}$ м$^{-1}$
Радиус Бора	a	$0{,}529\cdot10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны электрона	Λ	$2{,}43\cdot10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0{,}927\cdot10^{-23}$ А·м^2
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2{,}18\cdot10^{-18}$ Дж (13,6 эВ)
Атомная единица массы	*а.е.м.*	$1{,}660\cdot10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	$8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м

Плотность твёрдых тел Таблица 2

Твёрдое тело	Плотность, кг/м^3	Твёрдое тело	Плотность, кг/м^3
Алюминий	$2{,}70\cdot10^3$	Медь	$8{,}93\cdot10^3$
Барий	$3{,}50\cdot10^3$	Никель	$8{,}90\cdot10^3$
Ванадий	$6{,}02\cdot10^3$	Свинец	$11{,}3\cdot10^3$
Висмут	$9{,}80\cdot10^3$	Серебро	$10{,}5\cdot10^3$
Железо	$7{,}88\cdot10^3$	Цезий	$1{,}90\cdot10^3$
Литий	$0{,}53\cdot10^3$	Цинк	$7{,}15\cdot10^3$

Диэлектрическая проницаемость Таблица 3

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2,0
Масло трансформаторное	2,2	Стекло	7,0

Удельное сопротивление металлов Таблица 4

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Железо	$9{,}8\cdot10^{-8}$	Нихром	$1{,}1\cdot10^{-6}$
Медь	$1{,}7\cdot10^{-8}$	Серебро	$1{,}6\cdot10^{-8}$

Энергия ионизации Таблица 5

Вещество	E_i, Дж	E_i, эВ
Водород	$2{,}18\cdot10^{-18}$	13,6
Гелий	$3{,}94\cdot10^{-18}$	24,6
Литий	$1{,}21\cdot10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1{,}66\cdot10^{-18}$	10,4

Показатель преломления Таблица 6

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50

Работа выхода электронов Таблица 7

Металл	А, Дж	А, эВ
Калий	$3{,}5\cdot10^{-19}$	2,2
Литий	$3{,}7\cdot10^{-19}$	2,3
Платина	$10\cdot10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3{,}4\cdot10^{-19}$	2,1
Серебро	$7{,}5\cdot10^{-19}$	4,7
Цезий	$3{,}2\cdot10^{-19}$	2,0
Цинк	$6{,}4\cdot10^{-19}$	4,0

Периоды полураспада радиоактивных изотопов Таблица 8

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}^{225}_{89}Ac$	10 сут
Иод	${}^{131}_{53}I$	8 сут
Кобальт	${}^{60}_{27}Co$	5,3 г
Магний	${}^{27}_{12}Mg$	10 мин
Радий	${}^{226}_{86}Ra$	1620 лет
Радон	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 сут
Стронций	${}^{90}_{38}Sr$	27 лет
Фосфор	${}^{32}_{15}P$	14,3 сут
Церий	${}^{144}_{58}Ce$	285