

**р МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

Докумова Л.Ш.

ФИЗИКА

**Учебно-методическое пособие для выполнения
контрольных работ для обучающихся по направлению
подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»**

(бакалавриат)

11 часть

ЧЕРКЕССК, 2018 г.

УДК

ББК

Ш

Рекомендовано к публикации кафедрой общетехнических и
естественнонаучных дисциплин,
протокол № _____ от _____

Публикуется по решению учебно-методического совета СКГА, протокол
№ _____ от _____

Рецензент: Борлаков Х.Ш., профессор, д.ф-м.н.

Докумова Л.Ш. Физика. Учебно-методическое пособие для выполнения
контрольных работ для обучающихся по направлению подготовки 35.03.06
«Агроинженерия».

В методическом пособии представлен общий методический подход,
теоретическое обоснование и методические рекомендации по решению
типовых задач, контрольные задания для обучающихся по направлению
подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК

ББК

© Докумова Л.Ш., 2018

© ФГБОУ ВО СевКавГГТА, 2018

Введение

Цель настоящего учебно-методического указания – оказать помощь студентам –заочникам высших учебных заведений в изучении курса физики.

Основной учебный материал программы курса в методическом указании распределен на разделы. В каждом из них даны основные формулы, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения, контрольные задания и некоторые справочные таблицы.

В указании учтены особенности учебных планов инженерных специальностей для программы бакалавриат. Дана таблица вариантов контрольной работы.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основной формой обучения студента-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы кафедры физики вузов организуют чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы. Поэтому процесс изучения физики состоит из следующих этапов:

- 1) проработка установочных и обзорных лекций;
- 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
- 3) выполнение контрольных работ;
- 4) лабораторный практикум;
- 5) зачеты и экзамены.

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- 1) составлять конспект, записывая в нем законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических понятий и сущность физических явлений и методов исследования;
- 2) изучать курс физики систематически, так как в противном случае материал будет усвоен поверхностно;
- 3) пользоваться каким-то одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом пособий), чтобы не утрачивалась логическая связь между отдельными вопросами, по крайней мере внутри какого-то определенного раздела курса.

Контрольные работы позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить 2 контрольные работы. Решение задач контрольных работ является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса, а рецензии на работу помогают ему доработать и правильно освоить различные разделы курса физики. Перед выполнением контрольной работы необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами, приведенными в конце методических указаний.

Две контрольные работы, предусмотренные учебными планами для инженерно-технических специальностей, распределены следующим образом: 1, 2- физические основы механики, молекулярной физики и термодинамики; 3, 4 физические основы электродинамики; 5- волновая оптика, квантовая природа излучения; элементы атомной, ядерной физики.

В данное пособие включена 2 контрольная работа для инженерно-технических специальностей.

Контрольная работа содержит 16 задач. Вариант задания контрольной работы определяется в соответствии с последней цифрой шифра по таблице для контрольных работ. Если, например, последняя цифра 5, то в контрольных работах студент решает задачи 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145, 155.

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1) указывать на титульном листе номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес;

2) контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента;

3) задачу своего варианта переписывать полностью, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в одну систему единиц;

4) для пояснения решения задачи там, где это нужно, аккуратно сделать чертеж;

5) решение задачи и используемые формулы должны сопровождаться пояснениями;

6) в пояснениях к задаче необходимо указывать те основные законы и формулы, на которых базируется решение данной задачи;

7) при получении расчетной формулы для решения конкретной задачи приводить ее вывод;

8) задачу рекомендуется решить сначала в общем виде, т. е. только в буквенных обозначениях, поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения;

9) вычисления следует проводить с помощью подстановки заданных числовых величин в расчетную формулу. Все необходимые числовые значения величин должны быть выражены в СИ ;

10) проверить единицы полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность;

11) константы физических величин и другие справочные данные выбирать из таблиц;

12) при вычислениях, по возможности, использовать микрокалькулятор, точность расчета определять числом значащих цифр исходных данных;

13) в контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.

Контрольные работы, оформленные без соблюдения указанных правил, а также работы, выполненные не по своему варианту, не засчитывают.

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

I. МАГНЕТИЗМ

1.1. Магнитное поле

Сила Лоренца и сила Ампера. Вектор магнитной индукции. Основные уравнения магнитостатики в вакууме. Магнитное поле простейших систем. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Виток с током в магнитном поле. Потенциальная энергия витка с током во внешнем магнитном поле. Рамка с током в однородном магнитном поле. Момент сил, действующий на рамку. Индуктивность длинного соленоида. Коэффициент взаимной индукции. Закон Био - Савара. Принцип суперпозиции. Магнитное поле кругового тока. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Магнитная энергия тока. Плотность магнитной энергии. Энергия и силы.

1.2. Уравнения Максвелла

Фарадеевская и максвелловская трактовка явления электромагнитной индукции. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Векторный и скалярный потенциалы поля. Скорость распространения электромагнитных возмущений. Волновое уравнение. Плотность энергии. Плотность потока энергии.

II. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

2.1. Физика колебаний и волн

Понятие о колебательных процессах. Единый подход к колебаниям различной физической природы.

2.2. Кинематика гармонических колебаний

Амплитуда, круговая частота, фаза гармонических колебаний. Сложение скалярных и векторных колебаний. Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы.

2.3. Гармонический осциллятор

Маятник, груз на пружине, колебательный контур. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность. Фазовая плоскость осциллятора. Изохронность.

Энергетические соотношения для осциллятора. Понятие о связанных осцилляторах. Действие периодических толчков на гармонический осциллятор. Резонанс. Осциллятор как спектральный прибор. Фурье-разложение. Физический смысл спектрального разложения. Модулированные колебания. Спектр амплитудно-модулированного колебания. Вынужденные колебания осциллятора под действием синусоидальной силы. Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонансные кривые. Процесс установления колебаний. Время установления и его связь с добротностью. Вынужденные колебания в электрических цепях. Метод комплексных амплитуд. Параметрические колебания осциллятора. Энергетические соотношения. Параметрический резонанс.

2.4. Волновые процессы

Волны. Плоская стационарная волна. Плоская синусоидальная волна. Бегущие и стоячие волны. Фазовая скорость, длина волны, волновое число. Эффект Доплера. Скалярные и векторные волны. Поляризация. Интерференция синусоидальных волн. Распространение волн в средах с дисперсией. Групповая скорость и ее связь с фазовой скоростью. Нормальная и аномальная дисперсии. Одномерное волновое уравнение. Продольные волны в твердом теле. Вектор Умова. Упругие волны в газах и жидкостях. Ударные волны. Плоские электромагнитные волны. Поляризация волн. Вектор Пойнтинга. Излучение диполя. Сферические и цилиндрические волны.

2.5. Интерференция

Интерференция монохроматических волн. Квазимонохроматические волны. Функция когерентности. Интерференция квазимонохроматических волн. Интерферометры. Временное и спектральное рассмотрение интерференционных явлений.

2.6. Дифракция волн

Принцип Гюйгенса — Френеля. Приближение Френеля. Интеграл и дифракция Френеля. Приближение Фраунгофера. Простые задачи

дифракции: дифракция на одной и на многих щелях. Дифракционная решетка. Дифракция на круглом отверстии. Дифракция Фраунгофера и спектральное разложение. Дифракционная решетка с синусоидальной пропускаемостью. Принцип голографии.

2.7. Электромагнитные волны в веществе

Распространение света в веществе. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Поглощение света. Прозрачные среды. Поляризация волн при отражении. Элементы кристаллооптики. Электрооптические и магнитооптические явления.

III. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Противоречия классической физики. Проблемы излучения черного тела. Фотоэлектрический эффект, стабильность и размеры атома. Открытие постоянной Планка.

3.1. Фотоны

Энергия и импульс световых квантов. Фотоэффект. Эффект Комптона. Образование и аннигиляция электронно-позитронных пар. Элементарная квантовая теория излучения. Вынужденное и спонтанное излучение фотонов. Коэффициенты Эйнштейна. Тепловое равновесие излучения.

3.2. Корпускулярно-волновой дуализм

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов. Дифракция нейтронов. Микрочастица в двухщелевом интерферометре. Соотношения неопределенностей. Оценка основного состояния атома водорода и энергии нулевых колебаний осциллятора. Объяснение туннельного эффекта и устойчивости атома. Волновые свойства микрочастиц и соотношения неопределенностей. Наборы одновременно измеримых величин.

3.3. Уравнение Шредингера

Временное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера; стационарное состояние. Частицы в одномерном и трехмерном ящиках.

Частица в одномерной прямоугольной яме. Прохождение частицы над и под барьером. Гармонический осциллятор.

3.4. Атом

Частица в сферически симметричном поле. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциалы возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов. Пространственное распределение электрона в атоме водорода. Ширина уровней. Структура электронных уровней в сложных атомах. Типы связи электронов в атомах. Принцип Паули. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.

3.5. Атомное ядро

Строение атомных ядер. Феноменологические модели ядра. Ядерные реакции. Механизмы ядерных реакций. Радиоактивные превращения атомных ядер. Реакция ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерный реактор. Проблема источников энергии. Термоядерные реакции. Энергия звезд. Управляемый термоядерный синтез.


3.6. Элементы квантовой электроники

Коэффициенты Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе. Принцип работы квантового генератора. Твердотельные и газоразрядные лазеры. Радиоспектроскопия. Первый мазер. Метод трех уровней. Открытый резонатор. Первые лазеры.

Основные формулы

Сила Лоренца Где v - скорость заряда q ; B -индукция магнитного поля	$\vec{F} = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B}$
Сила Ампера Где I -сила тока в проводнике; dl -элемент длины проводника	$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$
Магнитный момент контура с током где S -площадь контура	$\vec{p}_m = IS \vec{n}$
Механический момент, действующий на контур с током в магнитном поле	$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$
Закон Био –Савара –Лапласа где μ_0 -магнитная постоянная; μ -магнитная проницаемость среды.	


	$dB = \frac{\mu_0 \mu dI}{4\pi r^3}$
Магнитная индукция: В центре кругового тока	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$
Поля бесконечно длинного прямого тока	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$
Поля, созданного отрезком проводника с током,	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$
Поля бесконечно длинного соленоида где R- радиус кругового тока; r- кратчайшее расстояние до оси проводника; n- число витков на единицу длины соленоида; α_1 и α_2 – углы между отрезком проводника и линией, соединяющей концы отрезка с точкой поля.	$B = \mu \mu n I$
Сила взаимодействия двух прямолинейных бесконечно длинных параллельных проводников с током на единицу их длины где r- расстояние между токами I_1 и I_2	$F = \frac{\mu \mu I_1 I_2}{2\pi r}$
Работа по перемещению контура с током в магнитном поле Где Φ - магнитный поток через поверхность контура.	$A = I \Delta \Phi$
Уравнение гармонического колебания где A-амплитуда колебания; ω - циклическая частота; φ_0 – начальная фаза.	$s = A \sin(\omega t + \varphi_0)$
Период колебания маятников: пружинного	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}};$
физического где m-масса маятника; k – жесткость пружины; j-момент инерции маятника; g- ускорение свободного падения; ℓ - расстояние от точки подвеса до центра масс.	$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mg\ell}}$

<p>Период колебаний в электрическом колебательном контуре</p> <p>где L –индуктивность контура; C-емкость конденсатора.</p>	$T=2\pi\sqrt{LC}$
<p>Уравнение плоской волны, распространяющейся в направлении оси Oх</p> <p>где v –скорость распространения волны</p>	
<p>Длина волны</p> <p>где T-период волны</p>	$\lambda = vT$
<p>Скорость распространения электромагнитной волны</p> <p>где c- скорость света в вакууме; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; μ – магнитная проницаемость.</p>	$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$
<p>Скорость распространения звука в газах</p> <p>где γ – отношение теплоемкостей газа, при постоянном давлении и объеме; R-молярная газовая постоянная; T-термодинамическая температура; M-молярная масса газа.</p>	$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$
<p>Вектор Пойнтинга</p> <p>Где E и H – напряженности электрического и магнитного полей электромагнитной волны.</p>	$p = E \times H$
<p>Оптическая длина пути в однородной среде</p>	$L = ns,$

Где s – геометрическая длина пути световой волны; n -показатель преломления среды.	
Оптическая разность хода где L_1 и L_2 - оптические пути двух световых волн.	$\Delta = L_2 - L_1$
Условие интерференционного максимума и интерференционного минимума	$\Delta = \pm m\lambda_0, m=1,2,\dots$ $\Delta = 2m\lambda_0/2$
где λ_0 - длина световой волны в вакууме	$m=1,2,\dots,$
Ширина интерференционных полос в опыте Юнга где d – расстояние между когерентными источниками света; ℓ - расстояние от источников до экрана.	$\Delta x = \frac{\lambda_0 \ell}{d}$
Оптическая разность хода в тонких пленках: в проходящем свете	$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$
в отраженном свете где d – толщина пленки; n - показатель преломления пленки; i – угол падения света.	$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$
Радиусы светлых колец Ньютона в проходящем свете или темных в отраженном и темных колец в проходящем свете или светлых в отраженном где R -радиус кривизны линзы; λ – длина световой волны в среде.	$r_m = \sqrt{m\lambda R}, m=1,2,\dots$ $r_m = \sqrt{2m\lambda R},$ $m=1,2,\dots$

Радиусы зон Френеля для сферической волновой поверхности	$r_m = \sqrt{mab}, m=1,2,\dots$
для плоской волновой поверхности	$r_m = \sqrt{mb}, m=1,2,\dots,$
где a - радиус волновой поверхности; b - кратчайшее расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения	$r_m = \sqrt{mb}, m=1,2,\dots$
Направление дифракционных максимумов от одной щели и дифракционных минимумов где a - ширина щели.	$a \sin \varphi_m = m\lambda, m=1,2,\dots;$ $a \sin \varphi_m = \pm n\lambda, m=1,2,\dots,$
Направление главных максимумов дифракционной решетки где c - постоянная дифракционной решетки.	$c \sin \varphi_m = \pm n\lambda,$ $m=0,1,2,\dots,$
Разрешающая способность дифракционной решетки где $\Delta\lambda$ - минимальная разность длин двух волн, спектральных линий, разрешаемых, решеткой; m - порядок спектра; N -общее число щелей решетки.	$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$
Формула Вульфа –Брэгга где d - расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ_m - угол скольжения рентгеновских лучей.	$2d \sin \theta_m = m\lambda, m=1,2,\dots,$
Степень поляризации где I_{\max} и I_{\min} - максимальная и минимальная интенсивность света.	$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$
Закон Брюстера где i_0 -угол Брюстера; n_1 и n_2 - показатели	

преломлений первой и второй среды.	$\operatorname{tg} i_0 = \frac{n_2}{n_1},$
Закон Малюса где I_0 и I - интенсивности плоско-поляризованного света, падающего и прошедшего через поляризатор; α – угол между плоскостью поляризации падающего света и главной плоскостью поляризатора.	$I = I_0 \cos^2 \alpha,$
Угол поворота плоскости поляризации света в кристаллах и чистых жидкостях в растворах	$\varphi = \varphi_0 \ell;$ $\varphi = [\varphi] c \ell,$
где φ_0 – постоянная вращения; $[\varphi_0]$ – удельная постоянная вращения; c – концентрация оптически активного вещества в растворе; ℓ – расстояние, пройденное светом в оптически активном веществе.	
Фазовая скорость света где c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления среды.	$v = \frac{c}{n},$
Дисперсия вещества	$D = \frac{dn}{d\lambda}$
Групповая скорость света	$v_g = c \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right)^{-1}.$
Направление излучения Вавилова – Черенкова где v – скорость заряженной частицы.	$\cos \theta = \frac{c}{nv},$
Закон Стефана –Больцмана	

где R- энергетическая светимость черного тела; T- термодинамическая температура тела; σ -постоянная Стефана –Больцмана.	$R = \sigma T^4,$
Закон смещения Вина Где λ_{\max} - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения черного тела; b-постоянная Вина	$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$
Давление света при нормальном падении на поверхность где I – интенсивность света; ρ - коэффициент отражения; w – объемная плотность энергии излучения.	$P = \frac{I}{c}(1 + \rho),$
Энергии фотона Где h-постоянная Планка; ν - частот света.	$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$
Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта где A- работа выхода электронов из металла; T_{\max} - максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.	$\varepsilon = A + T_{\max}$
Комптоновская длина волны частицы Где m_0 - масса покоя частицы; E_0 – энергия покоя частицы.	$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = \frac{hc}{E_0},$
Изменение длины волны рентгеновского излучения при эффекте Комптона где λ и λ' - длина волны падающего и рассеянного излучения; θ - угол	

рассеяния.	
Длина волны де Бройля где h – постоянная Планка; p - импульс частицы.	$\lambda = h / p$
Соотношение неопределенностей Гейзенберга: для координаты и импульса где Δx – неопределенность координаты частицы; Δp_x – неопределенность проекции импульса частицы на соответствующую координатную ось;	$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$
для энергии и времени Где ΔE - неопределенность энергии частицы в некотором состоянии; Δt - время нахождения частицы в этом состоянии	$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$
Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства где ψ -волновая функция частицы.	$w = \psi ^2$
Волновая функция, описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме где ℓ -ширина ямы; x – координата частицы в яме ($0 < x < \ell$); n -квантовое число ($n=1,2,3,\dots$)	$E_n = \frac{h^2}{8m\ell^2} n^2$
Энергия частицы в бесконечно	

<p>глубокой одномерной потенциальной яме</p> <p>где m-масса частицы</p>	$E_n = \frac{h^2}{8ml^2} n^2$
<p>Серийные формулы спектра водоподобных атомов</p> <p>где λ-длина волны спектральной линии; R-постоянная Ридберга; Z-порядковый номер элемента; $n=1,2,3,\dots$, $k=n+1$; $n+2,\dots$</p>	$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$
<p>Спектральные линии характеристического рентгеновского излучения</p> <p>где a- постоянная экранирования.</p>	$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$
<p>Дефект массы ядра</p> <p>где m_p - масса протона; m_n - масса нейтрона; m_H -масса атома 1_1H; m_a и m_y - масса атома и его ядра A_ZX. Z и A — зарядовое и массовое числа.</p>	$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_a$
<p>Энергия связи ядра</p> <p>где c- скорость света в вакууме.</p>	$E_{св} = c^2 \Delta m$
<p>Удельная энергия связи</p>	$\varepsilon_{св} = \frac{E_{св}}{A}$
<p>Закон радиоактивного распада</p> <p>где N_0-начальное число радиоактивных ядер в момент времени $t=0$; N-число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t; λ— постоянная радиоактивного распада</p>	$N = N_0 e^{-\lambda t}$
<p>Активность радиоактивного вещества</p>	$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$
<p>Закон поглощения гамма-излучения веществом</p> <p>где I_0 - интенсивность гамма-излучения на входе в поглощающий слой вещества; I-интенсивность гамма-излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x; μ-линейный</p>	$I = I_0 e^{-\mu x}$

коэффициент поглощения.	
Энергия ядерной реакции где m_1 и m_2 — массы покоя частиц, вступающих в реакцию; $\sum m_i$ -сумма масс покоя частиц, образовавшихся в результате реакции.	$Q = m_1 c^2 + m_2 c^2 - \sum m_i c^2$
Пороговая кинетическая энергия налетающей частицы, вызывающей ядерную реакцию где m_1 -масса покоя налетающей частицы; m_2 - масса покоящейся частицы.	$E_{th} = \frac{m_2 (m_1 + m_2) c^2}{m_1}$

Примеры решения задач

1. Изолированный прямолинейный проводник изогнут в виде прямого угла со стороной длиной 20 см. В плоскости угла помещен кольцевой проводник радиусом 10 см так, что стороны угла являются касательными к нему (рис.1).

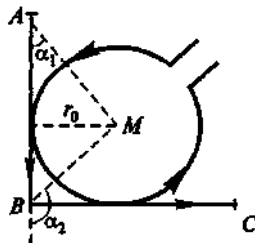


Рис. 1

Найти индукцию в центре кольца. Силы токов в проводнике равны 2А. Влияние проводящих проводов не учитывать.

Дано: $\ell = 0,2\text{ м}$; $r_0 = 0,1\text{ м}$; $I_1 = I_2 = I = 2\text{ А}$

Найти: B .

Решение: Индукция dB в точке поля от элемента любой конфигурации проводника $d\ell$ с током I , определяется по закону Био-Савара –Лапласа:

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (1)$$

где r - расстояние от элемента до точки, где определяется индукция; α - угол, составленный векторами $d\ell$ и r ; μ_0 - магнитная постоянная. Направление вектора индукции перпендикулярно плоскости, содержащей $d\ell$ и r , и определяется правилом правого винта. Например, в центре окружности (см. рис.) векторы индукции от всех элементов перпендикулярны плоскости окружности и направлены на нас. Интегрируя выражение (1), получаем индукцию в центре окружности радиуса r_0 : $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2r_0}$.

Индукция, создаваемая в точке M отрезками AB и BC и прямого проводника на расстоянии r_0 от него, равна:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$

Векторы индукции B_2 и B_3 в точке M совпадают по направлению с B_1 . По условию задачи $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 135^\circ$ и индукция от двух сторон угла составляет:

$$B_2 + B_3 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\sin 45^\circ + \sin 135^\circ) = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \sqrt{2}$$

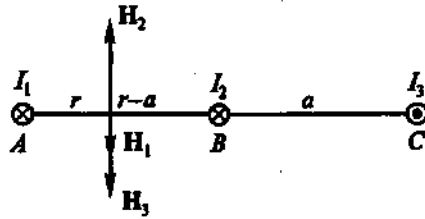
Результирующая индукция в центре кольца равна сумме:

$$B = B_1 + B_2 + B_3 = \frac{\mu_0 I}{2r_0} + \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \sqrt{2}$$

Ответ: $B = 18,2\text{ мТл}$.

2. На рис.2 изображены сечения трех прямолинейных бесконечно длинных проводников с токами. Расстояния $AB=BC=5\text{см}$, токи $I_1=I_2=I$; $I_3=2I$. Найти точку на прямой AC , в которой напряженность магнитного поля, вызванного токами I_1, I_2, I_3 , равна нулю.

Дано: $AB=BC=a=5\text{см}$; $I_1=I_2=I$; $I_3=2I$.



Найти: r .

Рис. 2

Решение: Напряженность H магнитного поля, созданного каждым из проводников на расстоянии R от проводника, определяется по формуле:

$H = \frac{I}{2\pi R}$. С учетом направления токов искомая точка находится на отрезке AB на расстоянии r от проводника с током I_1 .

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi r}; \quad H_2 = \frac{I_2}{2\pi(r-a)}; \quad H_3 = \frac{I_3}{2\pi(r-a)}.$$

Как видно из рис.2, $H_1 + H_3 = H_2$.

$$\frac{I}{2\pi r} + \frac{2I}{2\pi(r-a)} = \frac{I}{2\pi(r-a)}; \quad \frac{1}{r} + \frac{2}{r-a} = \frac{1}{r-a}.$$

Решая уравнение относительно r , получим $r=3,33\text{ см}$.

Ответ: $r=3,33\text{ см}$.

3. Квадратная рамка со стороной 1 см содержит 100 витков и помещена в однородное магнитное поле напряженностью 100 А/м . Направление поля составляет угол 30° с нормалью к рамке (рис. 5). Какая работа совершается при повороте рамки на 30° в одну и другую сторону, если по ней течет ток 1 А ?

Дано: $a = 0,04\text{ м}$; $N=100$; $H= 100\text{ А/м}$; $\alpha_0 = 30^\circ$; $I= 1\text{ А}$.

Найти: A_1 и A_2 .

Решение: При повороте рамки на 30° по часовой стрелке угол α между \mathbf{B} и \mathbf{n} будет равен 0° , т.е. рамка расположится перпендикулярно полю. При повороте рамки на 30° в другую сторону угол α_2 между \mathbf{B} и \mathbf{n} будет равен 60° . Работа поворота рамки $A=I\Delta\Phi$, где I - ток; $\Delta\Phi=\Phi_0-\Phi$ - изменение магнитного потока, пронизывающего плоскость рамки. $\Phi=BS\cos\alpha$, где S - площадь рамки, $S= a^2$;

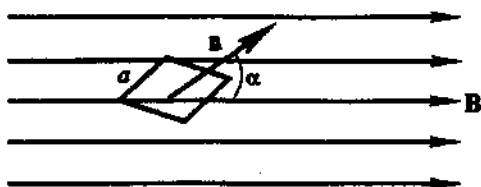


Рис. 5.

B – индукция магнитного поля, $B = \mu_0 H$; μ_0 – магнитная постоянная; H – напряженность магнитного поля.

$$\hat{Q} = \hat{A} \cos \alpha; \quad \hat{Q} = \hat{A} \cos \alpha; \quad \hat{Q}_2 = \hat{A} \cos \alpha.$$

Тогда

$$A_1 = 260 \text{ А}; \quad A_2 = 310 \text{ А};$$



Ответ: $A_1 = 260 \text{ А}$; $A_2 = 310 \text{ А}$

4. Электрон с энергией 300 эВ движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля напряженностью 465 А/м. Определить силу Лоренца, скорость и радиус траектории электрона.

Дано: $E = 300 \text{ эВ}$; $H = 465 \text{ А/м}$; $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Найти: F_L ; v ; r .

Решение. Кинетическая энергия электрона $E = mv^2/2$, откуда

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 300 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{9.1 \cdot 10^{-31}}} = 1.07 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Сила Лоренца

$$F = qvB,$$

Где q – заряд; B – индукция магнитного поля, $B = \mu_0 H$; μ_0 – магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная; H – напряженность поля.

$$B = \mu_0 H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 465 = 5.88 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}.$$

В магнитном поле электрон движется по окружности радиуса r под действием центростремительной силы $F_c = \frac{mv^2}{r}$, численно равной силе Лоренца: $F_L = F_c$, тогда

$$\frac{mv^2}{r} = F_L \quad \text{и} \quad r = \frac{mv^2}{F_L} = \frac{9.1 \cdot 10^{-31} \cdot (1.07 \cdot 10^8)^2}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 5.88 \cdot 10^{-4}} = 0.1 \text{ м}.$$

Ответ: $F_L = 1.8 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$; $v = 1.07 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; $r = 0.1 \text{ м}$.

5. Перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,1 мТл по двум параллельным проводникам движется без трения перемычка длиной 20 см (рис. 6). При замыкании цепи, содержащей эту

перемычку, в ней идет ток 0,01 А. Определить скорость движения перемычки. Сопротивление цепи 0,1 Ом.

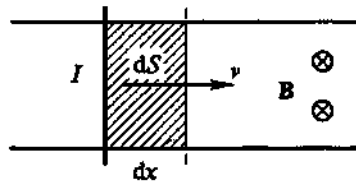


рис. 6

Дано: $\hat{A}=1 \cdot 10^4 \hat{A}$; $\ell=0,2 \hat{m}$; $I_1=0,01 \hat{A}$; $R=0,1 \hat{\Omega}$.

Найти: v .

Решение. Если проводник длиной ℓ движется перпендикулярно линиям индукции \mathbf{B} магнитного поля со скоростью v , то на концах его возникает ЭДС индукции ε_i равная скорости изменения магнитного потока Φ . $\varepsilon_i = \frac{d\Phi}{dt}$. Магнитный поток $\Phi = BS$, где S - площадь, которую пересекает проводник при своем перемещении (на рис. 6 заштрихована).

$$\Phi = B \cdot S = B \cdot \ell \cdot dx$$

Если в перемычке с сопротивлением R возникает ток I , значит на концах ее возникла ЭДС, РАВНАЯ $\varepsilon_i = IR$. Эта ЭДС равна

$$\varepsilon_i = \frac{d\Phi}{dt} = IR$$

Приравнявая правые части этих выражений, получим $I_1 R = B v \ell$, откуда

$$v = \frac{I_1 R}{B \ell} = 50 \hat{m/s}$$

Ответ: $v = 50 \hat{m/s}$

6. Цепь состоит из соленоида и источника тока. Соленоид без сердечника длиной 15 см и диаметром 4 см имеет плотную намотку из двух слоев медного провода диаметром 0,2 мм. По соленоиду течет ток 1 А. Определить ЭДС самоиндукции в соленоиде в тот момент времени после отключения его от источника, когда сила тока уменьшилась в два раза. Сопротивлением источника и подводящих проводов пренебречь.

Дано: $\ell=15 \hat{cm}=0,15 \hat{m}$; $D=4 \hat{cm}=0,04 \hat{m}$; $n=2 \cdot 10^2 \hat{m}^{-1}$; $I_0=1 \hat{A}$, $I=I_0/2$; $\rho=170 \hat{n}\cdot\hat{\Omega}$.

Найти: ε .

Решение. При размыкании цепи сила тока $I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)$, где R и L – сопротивление и индуктивность соленоида. ЭДС самоиндукции

$\varepsilon = I_0 R / 2$. В момент t , когда $I = I_0 / 2$, ЭДС самоиндукции $\varepsilon = I_0 R / 2$. Сопротивление провода $R = \rho_{\text{то}} / S$, где $\rho_{\text{то}} = \pi d n \ell$ – длина провода; $S = \pi d^2 / 4$ – его сечение. Таким образом, $R = \frac{4 \rho_{\text{то}}}{d}$, следовательно,

$$\varepsilon = \frac{I_0 \rho_{\text{то}}}{2d} = \frac{I_0 \pi d n \ell}{2d} = \frac{I_0 \pi n \ell}{2}$$

Ответ: $\varepsilon = 51 \text{ В}$.

7. Соленоид без сердечника имеет плотную однослойную намотку провода диаметром 0,2 мм и по нему течет ток 0,1 А. Длина соленоида 20 см, диаметр 5 см. Найти энергию и объемную плотность энергии магнитного поля соленоида.

Дано: $d = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $I = 0,1 \text{ А}$; $D = 0,05 \text{ м}$; $\ell = 0,2 \text{ м}$; $\mu = 1$.

Найти: W , w .

Решение. Энергия магнитного поля соленоида $W = LI^2 / 2$, где L – индуктивность соленоида, $L = \mu \mu_0 n^2 \ell / S$; μ_0 – магнитная постоянная; n – число витков на 1 м длины соленоида, при плотной намотке $n = 1/d$; ℓ – длина соленоида; $S = \pi D^2 / 4$ – площадь сечения соленоида. Тогда:

$$W = \frac{\mu \mu_0 \ell}{2 S d^2} I^2 = \frac{\mu \mu_0 \ell}{2 \pi D^2 d^2} I^2$$

Объемная плотность энергии определяется по формуле:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{W}{\pi D^2 \ell / 4} = \frac{2 W}{\pi D^2 \ell}$$

Ответ: $W = 62 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$, $w = 0,62 \text{ Дж/м}^3$.

8. Материальная точка массой 10 г. совершает гармоническое колебание с периодом 1 с. Амплитуда колебаний равна 5 см. Определить максимальную силу, действующую на точку, и ее полную энергию.

Дано: $m=10\text{ г}$; $T=1\text{ с}$; $A=5\text{ см}$.

Найти: F_{max} ; E .

Решение. Уравнение гармонического колебания имеет вид

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

где x - смещение материальной точки от положения равновесия;

ω - циклическая частота колебаний; ϕ_0 - начальная фаза.

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \phi) \quad (2)$$

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi) \quad (3)$$

Согласно второму закону Ньютона, сила, действующая на точку, определяется как

$$F = m a = -m A \omega^2 \cos(\omega t + \phi) \quad (4)$$

а ее максимальное значение равно

$$F_{\text{max}} = m \omega^2 A \quad (5)$$

Полная энергия колеблющейся точки складывается из кинетической и потенциальной энергий и равна максимальной кинетической или максимальной потенциальной энергии. Учитывая, что, согласно (2), $v_{\text{max}} = A\omega$, находим

$$E = \frac{m v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{m \omega^2 A^2}{2} \quad (6)$$

Подставляя в (5) и (6) числовые значения и учитывая, что циклическая частота и период колебаний связаны соотношением $\omega = 2\pi/T$, получим

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 6.28 \text{ с}^{-1};$$

$$F_{\text{max}} = 0.025 \text{ Н};$$

$$I = 0,08 \cos(50t + \frac{\pi}{2}) \text{ А}$$

Ответ: $F_{\text{ток}} = 31 \text{ д}$; $A = 0,08 \text{ А}$.

9. Конденсатору емкостью 40 мкФ сообщен заряд 0,3 мКл, после чего его замыкают на катушку с индуктивностью 0,1 Гн. Пренебрегая сопротивлением контура, найти законы изменения напряжения на конденсаторе и силы тока в цепи.

Дано: $C = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$; $q_m = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$; $L = 0,1 \text{ Гн}$.

Найти: $U = U(t)$; $I = I(t)$

Решение. В отсутствие омического сопротивления свободные колебания в контуре описываются уравнением

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega^2 q = 0, \quad (1)$$

Где $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - циклическая частота колебаний.

Решение уравнения (1) имеет вид

$$q = q_m \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

где φ_0 – начальная фаза колебаний. Поскольку в начальный момент времени (при $t=0$) заряд конденсатора $q = q_m$, то $\cos \varphi_0 = 1$ и, следовательно, $\varphi_0 = 0$.

Напряжение на конденсаторе

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos \omega t \quad (3)$$

а сила тока в цепи

$$I = \frac{dq}{dt} = -\frac{q_m \omega}{C} \sin \omega t \quad (4)$$

Подставляя числовые значения, получим

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{0,1 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ рад/с};$$

$$q_m = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл};$$

$$\frac{q_m \omega}{C} = 0,75 \text{ А};$$

Таким образом, $U = 7,5 \cos 50t$; $I = 0,75 \cos(50t + \frac{\pi}{2})$.

Ответ: $U = 7,5 \cos 50t$; $I = 0,75 \cos(50t + \frac{\pi}{2})$.

10. В однородной изотропной среде с $\varepsilon = 2$ и $\mu = 1$ распространяется плоская электромагнитная волна. За время $t = 1 \text{ с}$ энергия, переносимая этой волной через поверхность площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, равна 1,5 Дж. Найти амплитуды напряженности электрического и магнитного полей волны. Период колебаний $T \ll t$.

Дано: $\varepsilon = 2$; $\mu = 1$; $t = 1\text{с}$; $S = 1\text{м}^2$; $W = 1,5\text{Дж}$; $T \ll t$.
Найти: E_m ; H_m .

Решение. Плотность потока энергии электромагнитной волны определяется вектором Пойнтинга:

$$\vec{D} = \vec{A} \times \vec{I}.$$

Учитывая, что векторы напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей волны взаимно перпендикулярны, для модуля вектора Пойнтинга получим

$$P = EH.$$

Поскольку колебания напряженностей \vec{E} и \vec{H} совершаются в одинаковых фазах, зависимость плотности потока энергии от времени имеет вид

$$P_m = EH_m \cos^2 \omega t \quad (3)$$

Поток энергии через поверхность S , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, равен

$$\Phi = \int_S P_m dS \quad (4)$$

а для энергии, переносимой волной за время t через эту поверхность, получим выражение

$$W = \int_0^t \Phi dt \quad (5)$$

По условию $T \ll t$, следовательно, $\frac{t}{2} \approx \frac{\sin 2\omega t}{4\omega}$ и выражение (5) принимает вид

$$W = \frac{1}{2} E_m H_m S \quad (6)$$

Учитывая, что амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей волны связаны соотношением

$$\sqrt{\varepsilon} E_m = \sqrt{\mu} H_m \quad (7)$$

Представим выражение (6) в виде

$$W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_m^2 S \quad (8)$$

$$E_m = \sqrt{\frac{2W\sqrt{\mu}}{S\sqrt{\varepsilon}}}; \quad H_m = \sqrt{\frac{2W\sqrt{\varepsilon}}{S\sqrt{\mu}}} \quad (9)$$

Подставляя числовые значения, получим

$$E_m = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{1}}{1 \cdot \sqrt{2}}}; \quad H_m = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2}}{1 \cdot \sqrt{1}}}.$$

Ответ: $\vec{E}_m = 28\hat{i}$; $\vec{H}_m = 0,114\hat{i}$.

11. Найти минимальную толщину пленки с показателем преломления 1,33, при котором свет с длиной волны 0,64 мкм испытывает максимальное

отражение, а свет с длиной волны 0,40 мкм не отражается совсем. Угол падения света равен 45° .

Дано: $n=1,33$; $\lambda_1=0,64 \text{ мкм}$; $\lambda_2=0,40 \text{ мкм}$; $\alpha=45^\circ$.

Найти: d_{\min} .

Решение. Оптическая разность хода лучей, отраженных от нижней и верхней поверхностей пленки, равна

$$\Delta = 2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} d \quad (1)$$

Для света с длиной волны $\lambda = \lambda_1$, имеющего максимальное отражение, выполняется условие $\Delta = m\lambda_1$, т.е.

$$2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} d = m\lambda_1 \quad (2)$$

Отсюда $d = \frac{m\lambda_1}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (3)$

Для света с длиной волны $\lambda = \lambda_2$, не имеющего отражения, $\Delta = (k+1)\lambda_2/2$ и, следовательно,

$$2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} d = (k+1)\lambda_2/2 \quad (4)$$

Из формулы имеем

$$d = \frac{k\lambda_2}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (5)$$

Сравнивая выражения (3) и (5), получаем соотношение

$$\frac{m\lambda_1}{k\lambda_2} = \frac{2k+1}{2} \quad (6)$$

Из которого следует, что $(2m+1)_{\min} = 5$ и, соответственно, $k_{\min} = 4$.
Таким образом,

$$d = \frac{(2m+1)\lambda_1}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = \frac{k\lambda_2}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (7)$$

Подставляя числовые значения, получим

$$d = \frac{5 \cdot 0,64 \text{ мкм}}{4\sqrt{1,33^2 - \sin^2 45^\circ}} = 0,71 \text{ мкм}$$

Ответ: $d_{\min} = 0,71 \text{ мкм}$.

12. Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус r которого можно менять. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны 100 и 125 см соответственно. Определить длину волны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при $r_1 = 1,0 \text{ мм}$ и следующий максимум при $r_2 = 1,3 \text{ мм}$.

Дано: $a=100 \text{ см}$; $b=125 \text{ см}$; $r_1=1,0 \text{ мм}$; $r_2=1,3 \text{ мм}$.

Решение. Радиусы зон Френеля определяются выражением

$$r = \sqrt{\lambda ab / (a+b)} \quad (1)$$

Следовательно, число зон Френеля, открываемых отверстием радиуса r , равно

$$m = \frac{r^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (2)$$

Так как в центре экрана наблюдается максимум освещенности, то число m – нечетное. Для $r = r_1$ имеем

$$m_1 = \frac{r_1^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (3)$$

а для $r = r_2$ получим

$$m_2 = \frac{r_2^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (4)$$

$$\text{Причем по условию } m_2 = m_1 + 2 \quad (5)$$

Из выражений (3) и (4) с учетом (5) следует, что

$$m_2 - m_1 = \frac{r_2^2 - r_1^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) = 2 \quad (6)$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)} \quad (7)$$

Подставляя числовые значения, получим

$$\lambda = 0,0004 \text{ м} = 0,4 \text{ мкм}.$$

Ответ: $\lambda = 0,4 \text{ мкм}$.

13. При падении естественного света на поляризатор проходит 30% светового потока, а через два таких поляризатора - 13,5%. Найти угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов.

Дано: $I_1 = 0,3I_0$; $I_2 = 0,135I_0$.

Найти: α .

Решение. Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных волн одинаковой интенсивности, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Идеальный поляризатор пропускает колебания, происходящие в его плоскости, и полностью задерживает колебания, перпендикулярные этой плоскости. На выходе из первого поляризатора получается линейно поляризованный свет, интенсивность которого с учетом потерь на отражение и поглощение света поляризатором равна

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 \tau, \quad (1)$$

где τ – коэффициент, учитывающий потери на отражение и поглощение света.

После прохождения второго поляризатора интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света поляризатором, так как и из-за несовпадения плоскости поляризации света с главной плоскостью поляризатора. В соответствии с законом Малюса и учитывая потери на отражение и поглощение света, имеем

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha \quad (2)$$

Из (1) найдем

$$\tau = \frac{2I_1}{I_0} \quad (3)$$

Подставляя (3) и (2), получим

$$I_2 = \frac{2I_1^2}{I_0} \cos^2 \alpha \quad (4)$$

Отсюда

$$\cos \alpha = \frac{I_0}{I_1} \sqrt{\frac{I_2}{2I_0}} \quad (5)$$

Подставляя числовые данные, получим

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

и, следовательно, $\alpha = 30^\circ$.

Ответ: $\alpha = 30^\circ$.

14. Измерение дисперсии показателя преломления оптического стекла дало $n_1 = 1,528$ для $\lambda_1 = 0,434 \text{ мкм}$ и $n_2 = 1,523$ для $\lambda_2 = 0,486 \text{ мкм}$. Найти отношение фазовой скорости к групповой для света с длиной волны 0,434 мкм.

Дано: $n_1 = 1,528$; $\lambda_1 = 0,434 \text{ мкм}$; $n_2 = 1,523$; $\lambda_2 = 0,486 \text{ мкм}$.

Найти: v_1 / v_g .

Решение. Фазовая скорость света равна

$$v = \frac{c}{n}, \quad (1)$$

а групповая скорость определяется как

$$v_g = c \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где n - показатель преломления; λ - длина световой волны. Разделив выражение (1) на (2), найдем

$$\frac{v}{v_g} = \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right)^{-1} \quad (3)$$

Для средней дисперсии показателя преломления в интервале длин волн от λ_1 до λ_2 имеем

$$\left\langle \frac{dn}{d\lambda} \right\rangle = \frac{n_2 - n_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

Проводя вычисления, получим

$$\left\langle \frac{dn}{d\lambda} \right\rangle = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right).$$

Подставляя в (3) значения λ_1 , n_1 и $\left\langle \frac{dn}{d\lambda} \right\rangle$, найдем

$$\frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{1,5^2} \right).$$

Ответ: $v/c = 1,03$.

15. Определить импульс электронов, которые в среде с показателем преломления 1,5 излучают свет под углом 30° к направлению своего движения.

Дано: $n = 1,5$; $\Theta = 30^\circ$.

Найти: p .

Решение. Излучение Вавилова – Черенкова возникает, когда скорость движения v заряженной частицы в среде больше фазовой скорости в этой среде, равной c/n . Излучение направлено вдоль образующих конуса, ось которого совпадает с направлением движения частицы. Угол между направлением движения частицы определяется формулой

$$\cos \theta = \frac{c}{nv}. \quad (1)$$

Отсюда скорость частицы

$$v = \frac{c}{n \cos \theta} \quad (2)$$

Импульс релятивистской частицы определяется как

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (3)$$

где m_0 - масса покоя частицы. Подставляя (2) в (3), получим

$$p = \frac{m_0 c}{\sqrt{n^2 \cos^2 \theta - 1}}. \quad (4)$$

Для электронов $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$. Подставляя в (4) числовые значения, найдем

$$p = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8}{\sqrt{1,5^2 \cos^2 30^\circ - 1}}.$$

Ответ: $p = 3 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

16. Энергетическая светимость черного тела равна 250 кВт/м^2 . определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности этого тела.

Дано: $R = 250 \text{ кВт/м}^2$.

Найти: λ_m .

Решение. Энергетическая светимость черного тела, согласно Стефана – Больцмана, равна

$$R = \sigma T^4, \quad (1)$$

где σ - постоянная Стефана – Больцмана; T - абсолютная температура тела.

Из (1) найдем

$$T = \sqrt[4]{R/\sigma}. \quad (2)$$

Длина волны, на которую приходится максимум испускательной способности черного тела, согласно закону смещения Вина, определяется как

$$\lambda_m = b/T, \quad (3)$$

где b - постоянная Вина.

Подставляя (2) в (3), получим

$$\lambda_m = b \sqrt[4]{\sigma/R} \quad (4)$$

Проводя вычисления, найдем

$$\lambda_m = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda_m = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

17. Определить давление света с длиной волны 550 нм, нормально падающего на зеркальную поверхность, если на 1 см^2 этой поверхности ежесекундно падает 10^{18} фотонов.

Дано: $\lambda = 550 \text{ нм}$; $S = 1 \text{ м}^2$; $t = 1 \text{ с}$; $N = 10^{18}$; $\rho = 1$.

Найти: p .

Решение. Давление света при нормальном падении на поверхность с коэффициентом отражения ρ определяется по формуле

$$p = I(1 + \rho)/c, \quad (1)$$

Где I – интенсивность света, равная энергии всех фотонов, падающих в единицу времени на единицу площади поверхности

$$I = N\varepsilon/St, \quad (2)$$

а энергия фотона и длина волны света связаны соотношением

$$\varepsilon = hc/\lambda. \quad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) формулу (1) можно представить в виде

$$p = \frac{hN(1+\rho)}{St\lambda}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) числовые значения, получим

$$p = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па}.$$

Ответ: $p = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$.

18. Красная граница фотоэффекта для никеля равна 0,257 мкм. Найти длину волны света, падающего на никелевый электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной 1,5В.

Дано: $\lambda_k = 0,257 \text{ мкм}$; $U = 1,5 \text{ В}$.

Найти: λ .

Решение. Согласно уравнению Эйнштейна, для фотоэффекта

$$hc/\lambda = A + mv_{\text{max}}^2/2, \quad (1)$$

Где A - работа выхода электронов из металла; $mv_{\text{max}}^2/2$ - максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Красная граница фотоэффекта определяется из условия равенства энергии фотона $\varepsilon = hc/\lambda$ работе выхода электронов, т.е.

$$hc/\lambda_k = A. \quad (2)$$

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов может быть определена через задерживающую разность потенциалов

$$m_{\text{э}}^2/2 = d \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим

$$hc/\lambda - hc/\lambda_c = d \quad (4)$$

Из уравнения (4) найдем длину волны света

$$\lambda = \left(\frac{1}{\lambda_c} + \frac{d}{hc} \right)^{-1} \quad (5)$$

Проведя вычисления, получим

$$\lambda = 0,196 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda = 0,196 \text{ нм}$.

19. Гамма –фотон с длиной волны 1,2 пм в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол 60° . Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

Дано: $\lambda = 1,2 \text{ пм}$; $\Theta = 60^\circ$.

Найти: T ; p .

Решение. Изменение длины волны фотона при комтоновском рассеянии на неподвижном свободном электроном равно

$$\lambda - \lambda' = \lambda_c (1 - \cos \Theta), \quad (1)$$

Где λ' - длина волны рассеянного фотона; λ_c - комптоновская длина волны электрона, $\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$.

Из уравнения (1) найдем

$$\lambda' = \lambda - \lambda_c (1 - \cos \Theta) \quad (2)$$

Выразим энергию падающего и рассеянного фотона через длину его волны:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}; \quad \varepsilon' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{hc}{\lambda - \lambda_c (1 - \cos \Theta)} \quad (3)$$

Кинетическая энергия электрона отдачи, согласно закону сохранения энергии, равна

$$T = \varepsilon - \varepsilon' \quad (4)$$

Подставляя выражения (3) в (4), получим

$$T = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda - \lambda_c (1 - \cos \Theta)} \quad (5)$$

Проводя вычисления, найдем

$$T = \left(\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{1,2 \cdot 10^{-12} \text{ м}} \right) - \left(\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{1,2 \cdot 10^{-12} \text{ м} - 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м} (1 - \cos 60^\circ)} \right) = 8,30 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}$$

Зная кинетическую энергию электрона, найдем его импульс. Поскольку кинетическая энергия электрона сравнима с его энергией покоя

$0.83 \cdot 10^4 \text{ Аэ}$, импульс и кинетическая энергия связаны релятивистским соотношением

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_0^2} \quad (6)$$

Подставляя в (6) числовые значения, получим

$$p = \frac{1}{3 \cdot 10^8} \sqrt{(0.83 \cdot 10^4)^2 - (0.51 \cdot 10^4)^2} = 4.8 \cdot 10^{-2} \text{ Аэ/с}$$

Ответ: $0.83 \cdot 10^4 \text{ Аэ}$; $4.8 \cdot 10^{-2} \text{ Аэ/с}$.

20. Кинетическая энергия протона в четыре раза меньше его энергии покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны протона.

Дано: $T = E_0/4$; $E_0 = 1500 \text{ эВ}$.

Найти: λ .

Решение. Длина волны де Бройля λ определяется по формуле

$$\lambda = h/p, \quad (1)$$

где h -постоянная Планка; p - импульс частицы.

Так как по условию задачи

$$T = E_0/4, \quad (2)$$

кинетическая энергия T протона сравнима с его энергией покоя E_0 , импульс p и кинетическая энергия связаны релятивистским соотношением

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{KE^2} \quad (3)$$

где c -скорость света в вакууме. Подставляя в (3) условие (2), найдем

$$p = \frac{3 E_0}{4 c} \quad (4)$$

Учитывая равенство (4), запишем (1) в виде

$$\lambda = \frac{4 hc}{3 E_0} \quad (5)$$

Подставляя в (5) числовые значения, получим

$$\lambda = \frac{4 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 1500 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 9.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda = 1771 \text{ \AA}$

21. Масса движущегося электрона в три раза больше его массы покоя.

Чему равна минимальная неопределенность координаты электрона?

Дано: $m = 3m_0$; $m_0 = 0,91 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$.

Найти: Δx_{\min} .

Решение. Согласно соотношению неопределенности Гейзенберга,

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

где Δx и Δp_x - неопределенности координаты и импульса частицы;

h -постоянная Планка.

Учитывая, что

$$p = mv \quad (2)$$

где m -масса; v - скорость частицы, соотношение (1) можно представить в виде

$$\Delta x \geq \frac{h}{2\pi \Delta v_x} \quad (3)$$

Поскольку неопределенность скорости Δv_x , как и сама скорость, не может превышать скорость света c в вакууме, то

$$\Delta x_{\min} = \frac{h}{2\pi c} \quad (4)$$

Согласно условию,

$$m = 3m_0. \quad (5)$$

Подставляя в (4) условие (5), получим

$$\Delta x_{\min} = \frac{h}{6\pi mc} \quad (6)$$

Проведя вычисления, найдем

$$\Delta x_{\min} = 1280 \text{ \AA}.$$

Ответ: $\Delta x_{\min} = 1280 \text{ \AA}$.

22. Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l на втором энергетическом уровне. В каких

точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы совпадает с классической плотностью вероятности.

Дано: l ; $\omega_n = \omega_\infty$; $n=2$.

Найти: x .

Решение. Волновая функция ψ , описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l , имеет вид

$$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (1)$$

где n -номер энергетического уровня ($n=1, 2, 3, \dots$); x - координата частицы в яме ($0 \leq x \leq l$).

Согласно физическому смыслу волновой функции,

$$|\psi|^2 = \omega, \quad (2)$$

где ω - плотность вероятности обнаружения частицы в точке с координатой x .

Если частица находится на втором энергетическом уровне ($n=2$), то

$$\omega = \frac{2}{l} \sin^2 \left(\frac{2\pi x}{l} \right). \quad (3)$$

В соответствии с принципом соответствия Бора, выражение для классической плотности вероятности получается при $n \rightarrow \infty$

$$\omega_\infty = 1/l. \quad (4)$$

Приравнявая по условию задачи выражение (3) к (4), получим

$$\sin^2 \left(\frac{2\pi x}{l} \right) = \frac{1}{2}. \quad (5)$$

Решая уравнение (5), найдем

$$x = \left(k \pm \frac{1}{4} \right) \frac{l}{2}, \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6)$$

В пределах ямы ($0 \leq x \leq l$) таких точек четыре:

$$x = \left(\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{5}{8}, \frac{7}{8} \right) l.$$

Ответ: $x = \left(\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{5}{8}, \frac{7}{8} \right) l.$

23. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{16}_8\text{O}$.

Решение. Дефект массы Δm ядра определяется по формуле

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{я}}, \quad (1)$$

где Z -зарядовое число; A - массовое число; m_p - масса протона; m_n -масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ - масса ядра.

Формулу (1) можно также записать в виде

$$\Delta m = m_{^1_1\text{H}} - m_{\text{я}} + (A - Z) m_n,$$

где $m_{^1_1\text{H}}$ -масса атома ^1_1H ; $m_{\text{я}}$ - масса атома, дефект массы ядра которого определяется.

Из справочных таблиц находим:

$$m_{^1_1\text{H}} = 1.007 \text{ а.е.м.}; \quad m_{\text{я}} = 1.008 \text{ а.е.м.}; \quad m_n = 1.009 \text{ а.е.м.}$$

Подставляя в (2) числовые данные (для $^{16}_8\text{O}$ числа $Z=8$ и $A=16$), получим

$$\Delta m = 0.137 \text{ а.е.м.}$$

Энергия связи ядра $E_{\text{св}}$ определяется по формуле

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m, \quad (3)$$

где c - скорость света в вакууме.

Если дефект массы Δm выражать в $[a.e.m.]$, а энергия связи $E_{\text{св}}$ - в $[MeV]$, то формула (3) принимает вид

$$E_{\text{св}} = 931 \Delta m. \quad (4)$$

Подставляя в (4) числовые значения, получим

$$E_{\text{св}} = 931 \cdot 0.137 = 128 \text{ МэВ}.$$

Удельная энергия связи $\varepsilon_{\text{св}}$ вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\text{св}} = E_{\text{св}} / A. \quad (5)$$

Проводя вычисления, получим

$$\varepsilon_{\text{св}} = \frac{128 \text{ МэВ}}{16} = 8 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $\Delta m = 0.137 \text{ а.е.м.}; \quad E_{\text{св}} = 128 \text{ МэВ} \quad \varepsilon_{\text{св}} = 8 \text{ МэВ}.$

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

Таблица вариантов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2.1	2.11	2.21	2.31	2.41	2.51	2.61	2.71	2.81	2.91	2.101	2.111	2.121	2.131	2.141	2.151
2	2.2	2.12	2.22	2.32	2.42	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	2.102	2.112	2.122	2.132	2.142	2.152
3	2.3	2.13	2.23	2.33	2.43	2.53	2.63	2.73	2.83	2.93	2.103	2.113	2.123	2.133	2.143	2.153
4	2.4	2.14	2.24	2.34	2.44	2.54	2.64	2.74	2.84	2.94	2.104	2.114	2.124	2.134	2.144	2.154
5	2.5	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	2.105	2.115	2.125	2.135	2.145	2.155
6	2.6	2.16	2.26	2.36	2.46	2.56	2.66	2.76	2.86	2.96	2.106	2.116	2.126	2.136	2.146	2.156
7	2.7	2.17	2.27	2.37	2.47	2.57	2.67	2.77	2.87	2.97	2.107	2.117	2.127	2.137	2.147	2.157
8	2.8	2.18	2.28	2.38	2.48	2.58	2.68	2.78	2.88	2.98	2.108	2.118	2.128	2.138	2.148	2.158
9	2.9	2.19	2.29	2.39	2.49	2.59	2.69	2.79	2.89	2.99	2.109	2.119	2.129	2.139	2.149	2.159
10	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	2.100	2.110	2.120	2.130	2.140	2.150	2.160

2.1. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводникам, находящимся на расстоянии 50 см друг от друга, в одном направлении текут токи I_1 и I_2 силой 5 А каждый. Между проводниками на расстоянии 30 см от первого расположен кольцевой проводник с током I_3 силой 5 А. Радиус кольца 20 см. Определить напряженность H и индукцию B магнитного поля в центре кольцевого проводника. Решение пояснить рисунком.

2.2. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводникам, находящимся на расстоянии 10 см друг от друга, текут токи силой 5 А в каждом. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, расположенной посередине между проводниками в следующих случаях: а) проводники параллельны и токи текут в одном направлении; б) проводники перпендикулярны, а направления токов произвольны. Решение пояснить рисунком.

2.3. Соленоид имеет плотную трехслойную намотку из провода диаметром 0,1 мм. По обмотке течет ток силой 0,1 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре соленоида.

2.4. По изолированному кольцевому проводнику радиусом 25 см течет ток силой 15 А. Два прямых бесконечно длинных проводника - один в плоскости кольца, другой перпендикулярно ей - касаются кольцевого проводника в точках, лежащих на противоположных концах диаметра. Сила токов в проводниках 10 и 20 А. Определить напряженность в центре кольцевого проводника при произвольно выбранных направлениях токов. Решение пояснить рисунком.

2.5. По кольцу радиусом 15 см течет ток силой 10 А. В одной плоскости с кольцом находится бесконечно длинный прямолинейный проводник с током 10 А. Проводник совпадает с касательной к кольцу. Найти напряженность и индукцию магнитного поля в центре кольца при различных направлениях токов. Решение пояснить рисунком.

2.6. Витки двухслойного длинного соленоида намотаны из проволоки радиусом 0,2 мм. В одном слое течет ток силой 3 А, а другом - 1 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля внутри соленоида в случаях, когда токи текут в одном и противоположных направлениях.

2.7. Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами силой 6 и 8 А расположены взаимно перпендикулярно на расстоянии 20 см. Определить напряженность и индукцию магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между ними.

2.8. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводникам, расстояние между которыми 15 см, в одном направлении текут токи силой 4 и 6 А. Определить расстояние от проводника с меньшим током до геометрического места точек, в котором напряженность магнитного поля равна нулю.

2.9. Два проводника в виде полуколец лежат в одной плоскости и имеют общий центр. Радиус первого полукольца 10 см и сила тока в нем равна 1 А, радиус второго полукольца 20 см и в нем течет ток силой 4 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре полуколец в случаях, когда токи текут в одном и противоположных направлениях. Поле от подводющих проводов не учитывать.

2.10. По квадратной рамке со стороной 0,2 м течет ток силой 4 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре рамки.

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

2.12. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 20\text{ см}$ друг от друга, текут одинаковые токи $I=400\text{ А}$. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

2.13. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу.

По рамке и проводу текут одинаковые токи $I=200$ А. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

2.14. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S=250$ см², содержащая $N=500$ витков провода, по которому течет ток $I=5$ А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H=1000$ А/м. Найти: 1) магнитный момент p_m катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с линиями поля.

2.15. Тонкий провод длиной $l=20$ см изогнут в виде полукольца и помещен в магнитное поле ($B=10$ мТл) так, что площадь полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. По проводу пропустили ток $I=50$ А. Определить силу F , действующую на провод. Подводящие провода направлены вдоль линий магнитной индукции.

2.16. Шины генератора длиной $l=4$ м находятся на расстоянии $d=10$ см друг от друга. Найти силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, если ток $I_{кз}$ короткого замыкания равен 5 кА.

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

2.18. Тонкое проводящее кольцо с током $I=40$ А помещено в однородное магнитное поле ($B = 80$ мТл). Плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Радиус R кольца равен 20 см. Найти силу F , растягивающую кольцо.

2.19. 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. Определи угол α , на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток $I=10$ А.

2.20. По круговому витку радиусом $R=5$ см течет ток $I=20$ А. Виток расположен в однородном магнитном поле ($B=40$ мТл) так, что нормаль к плоскости контура составляет угол $\alpha=\pi/6$ с вектором \mathbf{B} . Определить изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при его повороте на угол $\varphi = \pi/2$ в направлении увеличения угла α .

2.21. По прямолинейным длинным параллельным проводникам, находящимся на расстоянии 2 см, в одном направлении текут токи силой 1 А каждый. Какую работу на единицу длины проводников нужно совершить, чтобы раздвинуть их до расстояния 4 см?

2.22. Однородное магнитное поле напряженностью 900 А/м действует на помещенный в него проводник длиной 25 см с силой 1 мН. Определить силу тока в проводнике, если угол между направлениями тока и индукции магнитного поля составляет 45° .

2.23. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 88 кВ, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям его индукции. Индукция поля равна 0,1 Тл. Определить радиус траектории электрона.

2.24. Под действием однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции начинает перемещаться прямолинейный проводник массой 2 г, по которому течет ток силой 10 А. Какой магнитный поток пересечет этот проводник к моменту времени, когда его скорость станет равна 31,6 м/с?

2.25. Незакрепленный проводник массой 0,1 г и длиной 7,6 см находится в равновесии в горизонтальном магнитном поле напряженностью 10 А/м. Определить силу тока в проводнике, если он перпендикулярен линиям индукции поля.

2.26. Пройдя ускоряющую разность потенциалов 3,52 кВ, электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Индукция поля 0,01 Тл, радиус траектории 2 см. Определить отношение заряда к массе электрона.

2.27. Виток 2 см, по которому течет ток силой 10 А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 1,5 Тл. Линии индукции

перпендикулярны плоскости витка. Определить работу внешних сил при повороте витка на 90° вокруг оси, совпадающей с его диаметром.

2.28. Виток радиусом 5 см с током 1 А помещен в магнитное поле напряженностью 5000 А/м так, что нормаль к витку составляет угол 60° с направлением поля. Какую работу совершает сила поля при повороте витка в устойчивое положение?

2.29. Квадратная рамка со стороной 4 см содержит 100 витков и помещена в однородное магнитное поле напряженностью 100 А/м. Направление поля составляет угол 30° с нормалью к рамке. Какая работа совершается при повороте рамки в положение, когда ее плоскость совпадает с направлением линий индукции, если по ней течет ток 1 А?

2.30. Проводник с током 1 А длиной 0,3 м равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его конец, в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля напряженностью 1 кА/м. За одну минуту вращения совершается работа 0,1 Дж. Определить угловую скорость вращения проводника.

2.31. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий соленоид, если его длина $l=50$ см и магнитный момент $p_m=0,4$ Вб.

2.32. На соленоид с сердечником, индуктивностью 128 Гн и диаметром 4 см, индукция поля в котором равна 1,7 Тл, надето изолированное кольцо того же диаметра. Определить ЭДС индукции в кольце и ЭДС самоиндукции в соленоиде, если за 0,01 с ток в его обмотке равномерно снижается с 0,1 А до нуля.

2.33. Соленоид без сердечника длиной 15 см и диаметром 4 см имеет 100 витков на 1 см длины и включен в цепь источника тока. За 1 мс сила тока в нем изменилась на 10 мА. Определить ЭДС самоиндукции, считая, что ток в цепи изменяется равномерно.

2.34. Соленоид с сердечником ($\mu=1000$) длиной 15 см и диаметром 4 см имеет 100 витков на 1 см длины и включен в цепь источника тока. За 1 мс сила

тока в нем изменилась на 10 мА. Определить ЭДС самоиндукции, считая, что ток в цепи изменяется равномерно.

2.35. С какой скоростью перпендикулярно однородному магнитному полю напряженностью 500 А/м движется прямой проводник длиной 30 см и сопротивлением 0,1 Ом? При замыкании проводника по нему пошел бы ток силой 0,01 А.

2.36. В соленоиде сила тока равномерно возрастает от нуля до 10 А в течение 2с и при этом индуцируется ЭДС, равная 1 В. Какую энергию накопит поле соленоида в конце возрастания силы тока?

2.37. Квадратная рамка площадью 20 см², состоящая из 1000 витков, расположена в однородном магнитном поле перпендикулярно полю с индукцией $1 \cdot 10^{-3}$ Тл. В течение 0,02 с рамку удалили за пределы поля. Какая ЭДС наводится в рамке?

2.38. Катушка из 100 витков площадью 15 см² вращается с частотой 5 Гц в однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и линиям индукции поля. Определить максимальную ЭДС индукции в катушке.

2.39. Перпендикулярно линиям однородного магнитного поля с индукцией 0,3 Тл движется проводник длиной 15 см со скоростью 10 м/с, перпендикулярной проводнику. Определить ЭДС, индуцируемую в проводнике.

2.40. Сила тока в соленоиде равномерно возрастает от нуля до 10 А за 1 мин. При этом энергия магнитного поля соленоида достигает значения 20 Дж. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

2.41. Однослойный соленоид без сердечника длиной 20 см и диаметром 4 см имеет плотную намотку проводом диаметром 0,1 мм. За 0,1 с сила тока в нем равномерно убывает от 5 А до нуля. Определить ЭДС самоиндукции в соленоиде.

2.42. Амплитуда скорости материальной точки, совершающей гармоническое колебание, равна 3,6 см/с, а амплитуда ускорения 5,4 см/с². Найти амплитуду смещения и циклическую частоту колебаний.

2.43. Под действием груза массой 100 г пружина растягивается на 4,9 см. Грузу сообщили кинетическую энергию 25 мДж, и он стал совершать гармоническое колебание. Определить частоту и амплитуду колебаний.

2.44. В кабине лифта подвешен математический маятник, длина которого равна 48 см. Каков будет период колебаний маятника, если лифт поднимается с ускорением $2,2 \text{ м/с}^2$?

2.45. Физический маятник представляет собой тонкий стержень, подвешенный за один из его концов. При какой длине стержня период колебаний этого маятника будет равен 1 с?

2.46. За время, в течение которого осциллятор совершает 100 колебаний, амплитуда уменьшается в 2 раза. Чему равны логарифмический декремент затухания и добротность осциллятора?

2.47. Материальная точка массой 7,1 г совершает гармоническое колебание с амплитудой 2 см и частотой 5 Гц. Чему равна максимальная возвращающая сила и полная энергия колебаний?

2.48. Амплитуда скорости материальной точки, совершающей гармоническое колебание, равна 8 см/с, а амплитуда ускорения 16 см/с^2 . Найти амплитуду смещения и циклическую частоту колебаний.

2.49. Под действием груза массой 200 г пружина растягивается на 6,2 см. Грузу сообщили кинетическую энергию 0,02 Дж и он стал совершать гармоническое колебание. Определить частоту и амплитуду колебаний.

2.50. Период колебаний математического маятника 10 с. Длина этого маятника равна сумме длин двух других математических маятников, один из которых имеет частоту колебаний $1/6 \text{ Гц}$. Чему равен период колебаний второго из этих маятников?

2.51. Физический маятник представляет собой тонкий стержень подвешенный за один из его концов. При какой длине стержня период колебаний этого маятника будет равен 1 с?

2.52. Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону $I = 0,1 \sin 10^3 t$, где множитель при синусе выражен в [А], при t -в [с^{-1}]. Индуктивность контура 100 мГн. Найти закон изменения напряжения на конденсаторе и его емкость.

2.53. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $V = 10 \cos 10^4 t$, где множитель при косинусе выражен в [В], а множитель при t -[с^{-1}]. Емкость конденсатора 10 мкФ. Найти индуктивность контура и закон изменения силы тока в нем.

2.54. Максимальная сила тока в колебательном контуре 50 мА, а максимальное напряжение на обкладках конденсатора 100 В. Найти циклическую частоту колебаний, если энергия контура 100 мкДж.

2.55. В колебательном контуре максимальная сила тока 100 мА, а максимальное напряжение на обкладках конденсатора 50 В. Найти энергию колебательного контура, если период колебаний 25 мкс.

2.56. Колебательный контур радиоприемника состоит из катушки с индуктивностью 1 мГн и конденсатора, емкость которого может изменяться в пределах от 8,1 до 90 пФ. В каком диапазоне длин волн может принимать радиостанции этот приемник?

2.57. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 60 В/м. Определить амплитуду напряженности магнитного поля волны и среднее за период колебаний значение плотности потока энергии.

2.58. В однородной изотропной среде с $\varepsilon = 1,5$ и $\mu = 1$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны 0,15 А/м. Найти амплитуду напряженности электрического поля и фазовую скорость волны.

2.59. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $U = 10 \cos 10^4 t$ В. Емкость конденсатора 10 мкФ. Найти индуктивность контура и закон изменения силы тока в нем.

2.60. Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону $I = 0,1 \sin 10^3 t$ А. Индуктивность контура 0,1 Гн. Найти закон изменения напряжения на конденсаторе и его емкость.

2.61. В колебательной контуре максимальная сила тока 0,2 А, а максимальное напряжение на обкладках конденсатора 40В. Найти энергию колебательного контура, если период колебаний 15,7 мкс.

2.62. Конденсатору емкостью 0,4 мкФ сообщается заряд 10мкКл, после чего он замыкается на катушку с индуктивностью 1 мГн. Чему равна максимальная сила тока в катушке?

2.63. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, для которой среднее за период колебаний значение плотности потока энергии равно $3,3 \text{ Вт/м}^2$. Чему равны амплитудные значения напряженности электрического и магнитного полей волны?

2.64. В однородной изотропной среде с $\varepsilon = 2,2$ и $\mu = 1$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 50 В/м. Какую энергию переносит эта волна через площадку 100 см^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за время $t = 30 \text{ с}$? Период колебаний $T \ll t$.

2.65. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны 0,25 А/м. На ее пути перпендикулярно направлению распространения расположена поглощающая поверхность, имеющая форму круга радиусом 10 см. Чему равна энергия, поглощенная этой поверхностью за время $t = 1 \text{ мин}$? Период колебаний $T \ll t$.

2.66. Уравнение плоской упругой волны $s = 60 \cos(6280t - 18,5x)$, где множитель при косинусе выражен в [мкм], при t -в [с^{-1}], при x -[м]. Определить отношение амплитуды смещения частиц среды к длине волны и отношение амплитуды скорости частиц к скорости распространения волны.

2.67. Разность фаз колебаний в точках, расположенных на расстоянии 1,2 и 2,5 м от изотропного точечного источника, равна $3\pi/4$. Частота колебаний 100 Гц. Определить длину волны и скорость ее распространения.

2.68. Чему равна разность фаз колебаний в точках, лежащих на прямой, перпендикулярной волновым поверхностям, если расстояние между ними 1,5 м? Скорость распространения волны 300 м/с, а период колебаний 20 мс.

2.69. Определить длину звуковой волны, в воздухе при температуре 20 °С, если частота колебаний равна 700 Гц.

2.70. Найти число возможных собственных колебаний столба воздуха в трубе длиной 85 см, частота которых меньше 1 кГц, если труба закрыта с одного конца. Скорость звука равна 340 м/с.

2.71. Определить длину звуковой волны в воздухе при температуре 20 °С, если частота колебаний 700 Гц.

2.72. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга 0,5 мм, а расстояние от щелей до экрана 1,6 м. Определить число интерференционных полос, приходящихся на 1 см экрана, если длина волны света равна 0,62 мкм.

2.73. В опыте Юнга одна из щелей перекрывалась прозрачной пластинкой толщиной 10 мкм, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое девятой светлой полосой. Найти показатель преломления пластинки, если длина волны света равна 0,56 мкм.

2.74. На мыльную пленку падает белый свет под углом 60°. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в зеленый цвет ($\lambda = 0,53$ мкм)? Показатель преломления мыльной воды 1,33.

2.75. Для устранения отражения света на поверхность стеклянной линзы наносится пленка вещества с показателем преломления ($n=1,3$) меньшим, чем у стекла. При какой наименьшей толщине этой пленки отражение света с длиной волны 0,48 мкм не будет наблюдаться при нормальном падении лучей?

2.76. На пленку из глицерина толщиной 0,25 мкм падает белый свет. Каким будет казаться цвет пленки в отраженном свете, если угол падения лучей равен 30°?

2.77. На тонкий стеклянный клин падает нормально свет с длиной волны 0,54 мкм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете равно 0,6 мм. Показатель преломления стекла 1,5. Определить угол между поверхностями клина.

2.78. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет. Наименьшая толщина клина, с которой видны интерференционные полосы в отраженном свете, равна 0,12 мкм. Расстояние между полосами 0,8 мм. Найти длину волны света и угол между поверхностями клина, если показатель преломления стекла 1,5.

2.79. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим светом, длина волны которого 0,62 мкм. Найти радиус кривизны линзы, если диаметр третьего светлого кольца в отраженном свете равен 7,8 мм.

2.80. Кольца Ньютона образуются между плоским стеклом и линзой с радиусом кривизны 10 м. Монохроматический свет падает нормально. Диаметр третьего темного кольца в отраженном свете равен 8,2 мм. Найти длину волны падающего света.

2.81. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью. Определить показатель преломления жидкости, если диаметр второго светлого кольца в отраженном свете равен 4,8 мм. Свет с длиной волны 0,51 мкм падает нормально. Радиус кривизны линзы 10 м.

2.82. На непрозрачную преграду с отверстием радиуса 1,2 мм падает плоская монохроматическая световая волна. Когда расстояние от преграды до экрана равно 0,525 м, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности. При увеличении расстояния до 0,650 м максимум интенсивности сменяется минимумом. Определить длину волны света.

2.83. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 80 см от точечного источника монохроматического света ($\lambda=0,62$ мкм). Посередине между экраном и источником света помещена диафрагма с круглым

отверстием. При каком наименьшем диаметре отверстия центр дифракционной картины будет темным?

2.84. На щель шириной 0,25 мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 0,58-мкм. Найти ширину центрального дифракционного максимума на экране, удаленном от щели на 1,5 м.

2.85. На узкую щель нормально падает плоская монохроматическая световая волна ($\lambda=0,66$ мкм). Чему равна ширина щели, если первый дифракционный максимум наблюдается под углом 1° ?

2.86. Период дифракционной решетки равен 6 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре четвертого порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,55 мкм.

2.87. На дифракционную решетку с периодом 5 мкм падает нормально белый свет. Какие спектральные линии будут совпадать в направлении $\varphi=30^\circ$?

2.88. Какую разность длин волн зеленых лучей ($\lambda=0,53$ мкм) может разрешить дифракционная решетка шириной 20 мм и периодом 10 мкм в спектре третьего порядка?

2.89. Чему должна быть равна ширина дифракционной решетки с периодом 9 мкм, чтобы в спектре второго порядка был разрешен дублет $\lambda_1=486,0$ нм и $\lambda_2=486,1$ нм?

2.90. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновских лучей второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом 60° к поверхности кристалла.

2.91. На грань кристалла каменной соли падает узкий пучок рентгеновских лучей с длиной волны 0,095 нм. Чему должен быть равен угол скольжения лучей, чтобы наблюдался дифракционный максимум третьего

порядка? Расстояние между атомными плоскостями кристалла равно 0,285 нм.

2.92. Чему равна степень поляризации света, представляющего собой смесь естественного света с линейно поляризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.

2.93. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,5. Определить отношение максимальной интенсивности света, пропускаемой анализатором, к минимальной.

2.94. Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между плоскостями пропускания которых равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает 8% падающего на него света.

2.95. Чему равен угол между плоскостями пропускания двух поляризаторов, если интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась в 3,3 раза? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает 10% падающего на него света.

2.96. Естественный свет падает на кристалл алмаза под углом Брюстера. Найти угол преломления света.

2.97. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности воды, были максимально поляризованы?

2.98. На поверхность прозрачного вещества падает естественный свет под углом Брюстера. Коэффициент отражения света равен 0,1. Найти степень поляризации преломленного луча.

2.99. Для некоторого прозрачного вещества угол Брюстера оказался равным предельному углу полного внутреннего отражения. Определить показатель преломления вещества.

2.100. Кварцевую пластинку толщиной 3 мм, вырезанную перпендикулярно оптической оси, поместили между двумя поляризаторами. Определить постоянную вращения кварца для красного света, если его

интенсивность после прохождения этой системы максимальна, когда угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен 45° .

2.101. Раствор сахара с концентрацией $0,25 \text{ г/см}^3$ толщиной 18 см поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на угол 30° . Другой раствор толщиной 16 см поворачивает плоскость поляризации этого же света на угол 24° . Определить концентрацию сахара во втором растворе.

2.102. Черное тело имеет температуру $T_1=500\text{К}$. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

2.103. Температура абсолютно черного тела $T=2 \text{ кК}$. Определить длину волны λ_m , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(r_{\lambda T})_{\max}$ для этой длины волны.

2.104. Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 600 \text{ нм}$.

2.105. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\phi_e = 4 \text{ кДж/мин}$. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8 \text{ см}^2$.

2.106. Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 10 \text{ кВт}$. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 0,8 \text{ мкм}$. Определить площадь S излучающей поверхности.

2.107. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{m1} = 780 \text{ нм}$) на фиолетовую ($\lambda_{m2} = 390 \text{ нм}$)?

2.108. Определить поглощательную способность a_T серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{\text{рад}} = 1,4 \text{ кК}$, тогда как истинная температура T тела равна $3,2 \text{ кК}$.

2.109. Муфельная печь, потребляющая мощность $P=1 \text{ кВт}$, имеет отверстие площадью $S=100 \text{ см}^2$. Определить долю η мощности,

рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.

2.110. Средняя энергетическая светимость R поверхности Земли равна $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \text{ мин})$. Какова должна быть температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты $a_T = 0,25$?

2.111. Найти отношение групповой скорости к фазовой для света с длиной волны $0,66 \text{ мкм}$ в среде с показателем преломления $1,5$ и дисперсией $-4,5 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$.

2.112. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны $0,38 \text{ мкм}$. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной $1,4 \text{ В}$. Найти работу выхода электронов из катода.

2.113. Найти величину задерживающей разности потенциалов для фотоэлектронов, испускаемых при освещении цезиевого электрода ультрафиолетовыми лучами с длиной волны $0,30 \text{ мкм}$.

2.114. Красной границе фотоэффекта соответствует длина волны $0,332 \text{ мкм}$. Найти длину световой волны, падающей на электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной $0,4 \text{ В}$.

2.115. Цинковый электрод освещается монохроматическим светом. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалом $0,6 \text{ В}$. Вычислить длину волны света, применявшегося при освещении электрода.

2.116. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающий из вольфрамового электрода, освещаемого ультрафиолетовым светом с длиной волны $0,20 \text{ мкм}$.

2.117. Гамма-фотон с энергией $1,02 \text{ МэВ}$ в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол 90° . Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

2.118. Гамма-фотон с длиной волны 2,43 пм испытал комптоновское рассеяние на свободном электроном строго назад. Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

2.119. В результате комптоновского рассеяния на свободном электроном длина волны гамма-фотона увеличилась в два раза. Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния фотона равен 60° . До столкновения электрон покоился.

2.120. В результате комптоновского рассеяния на свободном электроном энергия гамма-фотона уменьшилась в три раза. Угол рассеяния фотона равен 60° . Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

2.121. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0=310$ нм. Определить максимальную кинетическую, энергию T_{max} фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda=200$ нм.

2.122. Давление p света с длиной волны $\lambda=40$ нм, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t=10$ с на площадь $S=1$ мм² этой поверхности.

2.123. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при энергетической освещенности $E_e=120$ Вт/м² давление p света на нее оказалось равным 0,5 мкПа.

2.124. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p=5$ мПа. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda=0,5$ мкм.

2.125. На расстоянии $r=5$ м от точечного монохроматического ($\lambda=0,5$ мкм) изотропного источника расположена площадка ($S=8$ мм²) перпендикулярно падающим пучкам. Определить число N фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения $P=100$ Вт.

2.126. На зеркальную поверхность под углом $\alpha=60^\circ$ к нормам падает пучок монохроматического света ($\lambda=590$ нм). Плотность потока энергии

светового пучка $\Phi = 1 \text{ кВт/м}^2$. Определить давление p , производимое светом на зеркальную поверхность.

2.127. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 10 \text{ см}$ от точечного изотропного излучателя. При какой мощности P излучателя давление p на зеркальную поверхность будет равным 1 мПа ?

2.128. Свет с длиной волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $p = 4 \text{ мкПа}$. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10 \text{ с}$ на площадь $S = 1 \text{ мм}^2$ этой поверхности.

2.129. На зеркальную поверхность площадью $S = 6 \text{ см}^2$ падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0,8 \text{ Вт}$. Определить давление p и силу давления F света на эту поверхность.

2.130. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1 \text{ нм}$) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R = 10 \text{ см}$. Определить световое давление p , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $P = 1 \text{ кВт}$.

2.131. Первоначально покоившийся свободный электрон в результате комптоновского рассеяния на нем гамма-фотона с энергией $0,51 \text{ МэВ}$ приобрел кинетическую энергию $0,06 \text{ МэВ}$. Чему равен угол рассеяния фотона?

2.132. Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ($\lambda = 0,40 + 0,76 \text{ мкм}$)? Вычислить значение длины этих линий. Каким цветам они соответствуют?

2.133. Спектральные линии каких длин волн возникнут, если атом водорода перевести в состояние 35 ?

2.134. Чему равен боровский радиус однократно ионизированного атома гелия?

2.135. Найти потенциал ионизации двукратно ионизированного атома лития?

2.136. Вычислить постоянную Ридберга и боровский радиус для мезоатома — атома, состоящего из протона (ядро атома водорода) и мюона (частицы, имеющей такой же заряд, как у электрона, и массу, равную 207 массам электрона).

2.137. Найти коротковолновую границу тормозного рентгеновского спектра, если на рентгеновскую трубку подано напряжение 60 кВ.

2.138. Вычислить наибольшее и наименьшее значения длины волны К-серии характеристического рентгеновского излучения от платинового антикатада.

2.139. Какую наименьшую разность потенциалов нужно приложить к рентгеновской трубке с вольфрамовым антикатодом, чтобы в спектре характеристического рентгеновского излучения были все линии К-серии?

2.140. Длина волны K_α - линии характеристического рентгеновского излучения равна 0,194 нм. Из какого материала сделан антикатод?

2.141. При переходе электрона в атоме меди с М-слоя на L-слой испускаются лучи с длиной волны 1,2 нм. Вычислить постоянную экранирования в формуле Мозли.

2.142. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную энергию электрона, находящегося в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 нм.

2.143. Собственная частота гармонического осциллятора равна $4 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную энергию осциллятора.

2.144. Среднее расстояние электрона от ядра в невозбужденном атоме водорода равно 52,9 пм. Вычислить минимальную неопределенность скорости электрона.

2.145. Используя соотношение неопределенностей, показать, что в ядре не могут находиться электроны. Линейные размеры ядра принять равными 10^{-14} м .

2.146. Чему равна минимальная неопределенность координаты покоящегося электрона.

2.147. Кинетическая энергия протона равна его энергии покоя. Чему равна при этом минимальная неопределенность координаты протона?

2.148. Чему равна минимальная неопределенность координаты фотона видимого излучения с длиной волны $0,55 \text{ мкм}$?

2.149. Показать, что для частицы, неопределенность координаты которой равна ее дебройлевской длине волны, неопределенность скорости равна по порядку величины самой скорости.

2.150. Естественная ширина спектральной линии $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$ излучения атома при переходе его в основное состояние равна $0,01 \text{ пм}$. Определить среднее время жизни атома в возбужденном состоянии.

2.151. Определить количество теплоты Q , выделяющейся при распаде радона активностью $A = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ за время $t = 20 \text{ мин}$. Кинетическая энергия T вылетающей из радона α -частицы равна $5,5 \text{ МэВ}$.

2.152. Масса $m = 1 \text{ г}$ урана $^{238}_{92}\text{U}$ в равновесии с продуктами его распада выделяет мощность $P = 1,07 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$. Найти молярную теплоту Q_m , выделяемую ураном за среднее время жизни τ атомов урана.

2.153. Определить энергию, необходимую для разделения ядра ^{20}Ne на две α -частицы и ядро ^{12}C . Энергии связи на один нуклон в ядрах ^{20}Ne , ^4He и ^{12}C равны соответственно $8,03$; $7,07$ и $7,68 \text{ МэВ}$.

2.154. В одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ . Определить: 1) энергию, выделяющуюся при распаде всех ядер этого изотопа урана массой $m = 1 \text{ кг}$; 2) массу каменного угля с удельной теплотой сгорания $q = 29,3 \text{ МДж/кг}$, эквивалентную в тепловом отношении 1 кг урана ^{235}U .

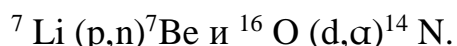
2.155. Мощность P двигателя атомного судна составляет 15 Мвт , его КПД равен 30% . Определить месячный расход ядерного горючего при работе этого двигателя.

2.156. Считая, что в одном акте деления ядра урана ^{235}U освобождается энергия 200 МэВ, определить массу m этого изотопа, подвергшегося делению при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом $30 \cdot 10^6$ кг, если тепловой эквивалент тротила q равен 4,19 МДж/кг.

2.157. При делении ядра урана ^{235}U под действием замедленного нейтрона образовались осколки с массовыми числами $M_1 = 90$ и $M_2 = 143$. Определить число нейтронов, вылетевших из ядра в данном акте деления. Определить энергию и скорость каждого из осколков, если они разлетаются в противоположные стороны и их суммарная кинетическая энергия T равна 160 МэВ.

2.158. Ядерная реакция $^{14}\text{N} (\alpha, p)^{17}\text{O}$ вызвана α -частицей, обладавшей кинетической энергией $T_\alpha = 4,2$ МэВ. Определить тепловой эффект этой реакции, если протон, вылетевший под углом $\theta = 60^\circ$ к направлению движения α -частицы, получил кинетическую энергию $T = 2$ МэВ.

2.159. Определить тепловые эффекты следующих реакций:



2.160. Определить скорости продуктов реакции $^{10}\text{B} (n,\alpha)^7\text{Li}$, протекающей в результате взаимодействия тепловых нейтронов с покоеющимися ядрами бора.

2.171. Вычислить толщину слоя половинного поглощения свинца для гамма-лучей, длина волны которых равна 0,775 нм.

2.172. Рассчитать толщину защитного свинцового слоя, который ослабляет интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией 2 МэВ в 5 раз.

2.173. Чему равна энергия гамма-фотонов, если при прохождении через слой железа толщиной 3 см интенсивность излучения ослабляется в три раза.

2.174. Во сколько раз изменится интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией 2 МэВ при прохождении экрана, состоящего из двух плит: свинцовой толщиной 2 см и алюминиевой толщиной 5 см?

2.175. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^2_4\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + p$.

2.176. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$.

2.177. Вычислить энергию ядерной реакции $p + {}^{11}_5\text{B} \rightarrow 3 {}^4_2\text{He}$.

2.178. Вычислить энергию ядерной реакции $n + {}^{10}_5\text{B} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$.

2.179. Определить максимальную кинетическую энергию электрона, испускаемого при распаде нейтрона. Написать схему распада.

2.180. Определить пороговую энергию образования электронно-позитронной пары в кулоновском поле электрона, которая происходит по схеме: $\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^+ + e^-$.

1. Округленные значения основных физических постоянных

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})^2$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях ($T_0=273,15\text{К}$, $p_0=101325 \text{ Па}$)		$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \text{ Кл/моль}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана — Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина в первом законе (смещения)	b_1	$2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Вина во втором законе	b_2	$1,30 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Боровский радиус	a	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона	λ_c	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = 13,6 \text{ эВ}$
Атомная единица массы	$a.e.m.$	$1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Энергия, соответствующая 1 а. е. м.		$931,50 \text{ МэВ}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Ядерный магнетон	μ_N	$5,05 \cdot 10^{-27} \text{ Дж/Тл}$

2. Некоторые астрономические величины

Радиус Земли (среднее значение), м	$6,37 \cdot 10^6$
Масса Земли, кг	$5,96 \cdot 10^{24}$
Радиус Солнца (среднее значение), м	$6,95 \cdot 10^8$
Масса Солнца, кг	$1,98 \cdot 10^{30}$
Радиус Луны (среднее значение), м	$1,74 \cdot 10^6$
Масса Луны, кг	$7,33 \cdot 10^{22}$
Среднее расстояние между центрами Земли и Луны, м	$3,84 \cdot 10^8$
Среднее расстояние между центрами Солнца и Земли, м	$1,5 \cdot 10^{11}$
Период обращения Луны вокруг и Земли,	27 сут 7 ч 43 мин

3. Плотность жидкостей $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³

Вода (при 4°C) — 1	Глицерин — 1,26	Керосин — 0,8
Масло — 0,9	Ртуть — 13,6	Спирт — 0,8

4. Плотность газов (при нормальных условиях), кг/м³

Азот — 1,25	Аргон — 1,78	Водород — 0,09
Воздух — 1,29	Гелий — 0,18	Кислород — 1,43

5. Плотность твердых тел $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м³

Алюминий	2,7
Вольфрам	19,75
Железо (сталь)	7,85
Константан	8,9
Лед	0,92
Медь	8,8
Никель	8,8
Нихром	8,4
Фарфор	2,3

6. Эффективный диаметр молекулы газов $d \cdot 10^{-10}$, м

Азот — 3,1 Аргон — 3,6 Воздух — 3,0
Водород — 2,3 Гелий — 1,9 Кислород — 2,9

7. Удельная теплота плавления $\lambda \cdot 10^4$ Дж/кг

Лед — 33,5 Свинец — 2,3

8. Удельная теплота парообразования $r \cdot 10^5$, Дж/кг

Вода — 22,5 Эфир — 6,68

9. Удельная теплоемкость $c \cdot 10^{-2}$, Дж/(кг · К)

Вода — 41,9 Лед — 21,0 Нихром — 2,20 Свинец — 1,26

10. Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^{-8}$, Ом · м

Вольфрам — 5,5 Железо — 9,8 Никелин — 40
Нихром — 110 Медь — 1,7 Серебро — 1,6

11. Диэлектрическая проницаемость (относительная) вещества

Вода — 81,0 Парафин — 2,0 Слюда — 6,0
Бакелит — 4,0 Трансформаторное масло — 2,2 Стекло — 7,0

12. Температурный коэффициент сопротивления проводников $\alpha \cdot 10^3$, К⁻¹

Вольфрам — 5,2 Медь — 4,2 Никелин — 0,1

13. Потенциал ионизации, эВ

Водород — 13,6 Ртуть — 10,4

14. Показатель преломления

Алмаз — 2,42 Вода — 1,33 Глицерин — 1,47
Каменная соль — 1,54 Кварц — 1,55 Сероуглерод — 1,63
Скипидар — 1,48 Стекло — 1,52

15. Интервалы длин волн, соответствующие различным цветам спектра, нм

Фиолетовый.....	400-450	Желтый	560-590
Синий.....	450-480	Оранжевый.....	590-620
Голубой.....	480-500	Красный.....	620-760
Зеленый.....	500- 560		

16. Масса m_0 и энергия E_0 покоя некоторых элементарных частиц и легких ядер

Частицы	m_0		E_0	
	а. е. м.	10^{27} , кг	МэВ	10^{10} , Дж
Электрон	$5,486 \cdot 10^{-4}$	0,00091	0,511	0,00081
Протон	1,00728	1,6724	938,23	1,50
Нейтрон	1,00867	1,6748	939,53	1,51
Дейтрон	2,01355	3,3325	1876,5	3,00
α -частица	4,0015	6,6444	3726,2	5,96

17. Работа выхода электронов из металла, эВ

Алюминий — 3,7 Вольфрам — 4,5 Литий — 2,3 Медь — 4,4
 Платина — 6,3 Цезий — 1,8 Цинк — 4,0 Никель — 4,8

18. Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов

$^{45}_{20}\text{Ca}$ - 164 сут $^{235}_{92}\text{U}$ - $7,1 \cdot 10^8$ лет
 $^{90}_{38}\text{Sr}$ - 27 лет $^{238}_{92}\text{U}$ - $4,5 \cdot 10^9$ лет
 $^{210}_{84}\text{Po}$ - 138 сут $^{226}_{86}\text{Ra}$ - 1590 лет
 $^{222}_{86}\text{Rn}$ - 3,82 сут ^3_1H - 12 лет

19. Элементы периодической системы и массы нейтральных атомов, а. е. м.

Элемент системы	Изотоп	Масса	Элемент системы	Изотоп	Масса
Водород	-		Алюминий	$^{27}_{12}\text{Al}$	26,98135
	^1_1H	1,00783	Кремний	$^{26}_{14}\text{Si}$	26,81535
	^2_1H	2,01410	Фосфор	$^{33}_{15}\text{P}$	32,97174
	^3_1H	3,01605	Сера	$^{33}_{16}\text{S}$	32,97146
Гелий	-		Железо	$^{56}_{26}\text{Fe}$	55,94700
	^3_2He	3,01605	Медь	$^{64}_{29}\text{Cu}$	63,5400
	^4_2He	4,00260	Вольфрам	$^{184}_{74}\text{W}$	183,8500
Литий	^7_3Li	7,01601	Магний	$^{24}_{12}\text{Mg}$	23,98504
Бериллий	^7_4Be	7,01169		$^{27}_{12}\text{Mg}$	26,98436
Бор	$^{10}_5\text{B}$	10,01294	Кальций	$^{48}_{20}\text{Ca}$	47,95236
	$^{11}_5\text{B}$	11,00931	Серебро	$^{108}_{47}\text{Ag}$	107,869
Азот	$^{14}_7\text{N}$	14,00307	Радий	$^{226}_{88}\text{Ra}$	226,0254
Кислород	$^{16}_8\text{O}$	15,99492	Торий	$^{232}_{90}\text{Th}$	232,038

	$^{17}_8O$	16,99913	Уран	$^{238}_{92}U$	238,0508
--	------------	----------	------	----------------	----------

20. Множители и приставки для образования десятичных кратных и долевых единиц и их наименований

Приставка	Обозначение приставки	Множитель	Приставка	Обозначение приставки	Множитель
экса	Э	10^{18}	санги	с	10^{-2}
пета	П	10^{15}	милли	м	10^{-3}
тера	Т	10^{12}	микро	мк	10^{-6}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	пико	п	10^{-12}
кило	К	10^3	фемта	Ф	10^{-15}
деци	Д	10^{-1}	атто	а	10^{-18}

21. Производные некоторых функций

Производная от постоянной величины $y = C$

$$y' = 0.$$

Производная от степенной функции $y = x^\mu$

В частности, $y = 1/x$, $y' = -1/x^2$; $y = \sqrt{x} = x^{1/2}$, $y' = 1/(2\sqrt{x})$, $y' = 1/(2\sqrt{x})$

Производная от показательной функции $y = a^x$

$$y' = a^x \ln a$$

В частности, $y = e^x$; $y' = e^x$.

Производная от логарифмической функции $y = \log_a x$

$$y' = \log_a e / x$$

В частности, для натурального логарифма $y = \ln x$

$$y' = 1/x.$$

Производные от тригонометрических функций:

$$y = \sin x \quad y' = \cos x;$$

$$y = \cos x \quad y' = -\sin x;$$

$$y = \operatorname{tg} x \quad y' = 1/\cos^2 x$$

Производные от обратных тригонометрических функций:

$$y = \arcsin x \quad y' = 1/\sqrt{1-x^2};$$

$$y = \arccos x \quad y' = -1/\sqrt{1-x^2};$$

$$y = \operatorname{arctg} x \quad y' = 1/(1+x^2).$$

22. Таблица основных интегралов

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1), \quad \int \frac{dx}{x} = \ln x + C;$$
$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C, \text{ если } a = e, \text{ то } \int e^x dx = e^x + C;$$
$$\int \sin x dx = -\cos x + C; \quad \int \cos x dx = \sin x + C.$$

23. О приближенных вычислениях

Числовые значения величин, которыми приходится оперировать при решении физических задач, являются большей частью приближенными. Поэтому при вычислениях нужно придерживаться следующих правил:

1. Достаточно проводить вычисления с числами, содержащими не более знаков, чем в исходных данных, так как с помощью вычислений невозможно получить результат более точный, чем исходные данные.

2. При сложении или вычитании чисел, имеющих различную точность, более точное должно быть округлено до точности менее точного. Например: $9,6 + 0,176 = 9,6 + 0,2 = 9,8$; $100,8 - 0,4 = 100,4$.

3. При умножении (делении) следует округлять сомножители так, чтобы каждый из них содержал столько значащих цифр, сколько их имеет сомножитель с наименьшим числом значащих цифр. Например: $342 \cdot 378 = 129 \cdot 10^3$, но не 129276 и не 129300; $0,148 \cdot 0,183 = 7,65 \cdot 10^{-3}$, но не 0,0076494; $0,350 : 3 = 0,117$, но не 0,11667.

4. При извлечении корня n -й степени результат должен иметь столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное выражение.

Например:

$$\sqrt[3]{130} = 106$$

5. При вычислении сложных выражений следует соблюдать правила в зависимости от вида проводимых действий.

6. Когда число мало отличается от единицы, можно пользоваться

приближенными формулами.

Если a, b, c — малы по сравнению с единицей (меньше 0,05), то:

$$1) (1 \pm a)(1 \pm b)(1 \pm c) = 1 \pm a \pm b \pm c;$$

$$2) \sqrt{1 \pm a} = 1 \pm a/2;$$

$$3) (1 \pm a)^n = 1 \pm na;$$

$$4) 1/(1 \pm a)^n = 1 \pm na;$$

$$5) 1/(1 \pm a) = 1 \pm a;$$

$$6) e^a = 1 + a;$$

$$7) \ln(1 \pm a) = \pm a/2.$$

7. Если угол $\alpha < 10^\circ$, то ~~$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = c$~~ (в радианах).

Соблюдая эти правила, студент сэкономит время на вычисление искомых величин при решении физических задач.

Литература

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики. – М.: Высш. шк., 2003.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. –М.: Высш. шк., 2004.
3. Яровский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. –М.: Наука, 1996.
4. Детлаф А.А., Яровский Б.М. Курс физики. –М.: Высш. Шк., 2000.
5. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. –М.: Наука, 2000.
6. Трофимова Т. И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. –М.: Высш. Шк., 2004.