

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

Ф И З И К А

Методические указания с заданиями для контрольных работ
Часть 2

Новосибирск 2021

УДК 53:(075)
ББК 22.171

Кафедра математики и физики

Составители: ст. преп. *И.М. Дзю*; канд. биол. наук, доц. *Е.Л. Дзю*, ст. преп. *А.П. Минаев*; д-р физ.-мат. наук, проф. *И.В. Ершов*

Рецензент канд. техн. наук, доц. *Н.П. Кисленко* (НГАСУ (Сибстрин))

Методические указания с заданиями для контрольных работ. Физика. Часть 2 / новосибирский государственный аграрный университет. Инженерный институт; составители: И.М. Дзю, Е.Л. Дзю, А.П. Минаев, И.В. Ершов. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – 58 с.

В учебно-методических указаниях приведены основные формулы, примеры решения задач и задания для выполнения контрольных работ. При составлении заданий использованы материалы методических указаний Минвуза.

Предназначены для студентов Инженерного института заочной формы обучения.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №4 от 24 ноября 2020 г.)

ВВЕДЕНИЕ

Учебная работа студента-заочника по изучению физики складывается из следующих элементов: самостоятельное изучение предмета по учебным пособиям, овладение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1); способностью решать инженерные задачи с использованием основных законов физики, способностью проводить и оценивать результаты измерений (ПК); решение задач, выполнение контрольных и лабораторных работ, сдача зачётов и экзаменов.

Во время лабораторно-экзаменационной сессии студент слушает обзорные лекции, выполняет лабораторные работы и сдаёт по ним зачёты, а затем экзамен.

Самостоятельная работа по учебным пособиям является главным видом работы студента-заочника, и на неё следует обратить особое внимание.

Рекомендуется изучать курс систематически, в течение всего учебного процесса. Изучение физики в сжатые сроки перед экзаменом не даст глубоких и прочных знаний и никогда не приведет к положительным результатам. В самом начале изучения курса физики необходимо составить для себя график работы. Ознакомившись с программой и согласовав с ней материал учебника, нужно распределить его по месяцам и начинать регулярную проработку материала, стараясь жёстко соответствовать проходимой программе.

Решать задачи необходимо параллельно с изучением теоретического материала по учебнику – это помогает уяснить физический смысл явлений, закрепляет в памяти формулы, прививает навыки практического применения теоретических знаний.

При решении задач необходимо:

1. Записать столбиком данные задачи. Все величины выразить в единицах системы СИ. Выполнить чертеж или рисунок, поясняющий содержание задачи (чертеж, рисунок или электрическая схема выполняются аккуратно при помощи чертежных принадлежностей). Записать основные формулы, на которых базируется решение, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения формул. В случае, если формула не выражает какой-нибудь физический закон или не является определением какой-нибудь физической величины, ее надо вывести.

2. Решение задач сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

3. Решать задачу необходимо в общем виде, т.е. от начала и до конца решение выполняется в буквенном виде, числовые значения подставляются только в окончательную формулу, выражающую искомую величину.

4. Подставить в рабочую формулу размерности величин и убедиться в правильности размерности искомой величины или ее единицы.

5. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближения вычислений, записать в ответе

числовое значение и сокращенное наименование единицы искомой величины по ГОСТу.

6. При подстановке в рабочую формулу, а также при записи ответа числовые значения величин записать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 1743 надо записать 1,743 или вместо 0,000325 записать $3,25 \cdot 10^{-3}$ и т.д.

7. Обязательно оценить правдоподобность численного ответа. Такая оценка поможет обнаружить ошибочность полученного результата. Если коэффициент полезного действия двигателя больше единицы по расчетам, то допущена ошибка, т.к. КПД любой машины не может быть больше единицы, элементарный заряд меньше $1,6 \cdot 10^{-19}$, а скорость больше скорости света, т.е. $3 \cdot 10^9$ м/с. Во всех случаях необходимо проверить расчеты.

Только после изучения теории и решения тренировочных задач по каждому разделу студент-заочник приступает к выполнению контрольных работ.

При выполнении контрольных работ придерживаются следующих правил:

1. Контрольные работы выполняют в обычной школьной тетради, на лицевой обложке которой приводятся сведения о студенте по следующему образцу:

Контрольная работа №2 по физике
Выполнил Иванов С.И.
Специальность 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»,
НГАУ
Курс 2
Шифр: БЗ19АИ164
Группа 3140
Адрес: г. Куйбышев, ул. Ленина, 2, кв. 3

2. Контрольная работа выполняется чернилами. На страницах тетради оставляют поля для замечаний рецензента.

3. Тест условия задачи должен быть переписан полностью. Ниже столбиком выписываются все данные из условия и необходимые величины из справочных таблиц, а далее все операции выполняют в соответствии с вышеописанными требованиями. Все записи должны быть аккуратными и выполнены разборчивым почерком.

4. В конце контрольной работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении теоретического материала (автор, название учебника, год издания).

5. Перечень номеров задач для каждой контрольной работы студент берет из таблицы по шифру (*последняя цифра шифра – номер варианта в таблице*). Замена номера задачи из таблицы другим номером или замена текста задачи, взятой из другого пособия, не допускается.

Таблица вывешена на стенде кафедры. Замена номера задачи из таблицы другим номером или замена текста задачи взятого из другого пособия не допускается.

Примечание: для студентов, обучающихся по сокращенным ускоренным программам, контрольная работа №1 включает решение задач из табл. 1 и 2 (16 задач), а контрольная работа № 2 – решение задач из табл. 3 и 4 (также 16 задач).

6. Контрольные работы высылаются на рецензию до начала экзаменационной сессии. Работы, поступившие на рецензию во время экзаменационной сессии, не рецензируются и не принимаются к защите.

7. По каждой контрольной работе с пометкой рецензента «к защите» проводится собеседование, а работу с пометкой «не зачтена» студент обязан переделать – исправить ошибки, объяснить их и выслать на повторную проверку.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ (Часть 2)

Задачи курса физики

1. Изучение основных физических явлений и идей.
2. Овладение фундаментальными понятиями, законами, теориями классической и современной физики, а также методами физического исследования.
3. Формирование научного мировоззрения и современного физического мышления.
4. Овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики.
5. Формирование навыков проведения физического эксперимента.
6. Формирование умений выделять конкретное физическое содержание в прикладных инженерных задачах будущей специальности.

Раздел IV. Электромагнетизм

Электромагнитная индукция. Возникновение электрического поля при изменении магнитного поля. Индукционный ток. Правило Ленца. Э.д.с. индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля соленоида. Плотность энергии магнитного поля. Взаимная индукция.

Электромагнитные колебания. Переменный ток. Индуктивность и емкость в цепи переменного тока. Колебательный контур. Основное уравнение колебательного контура. Собственные колебания контура. Формула Томсона. Реактивное сопротивление в цепи переменного тока. Затухающие колебания. Уравнение для затухающих колебаний.

Уравнение Максвелла. Основные экспериментальные соотношения, используемые при написании уравнений Максвелла. Уравнение Максвелла для стационарных полей. Обобщение закона электромагнитной индукции Фарадея. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной форме для произвольных полей.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоская электромагнитная волна. Скорость распространения электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга. Экспериментальное исследование электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн.

Единицы измерения электрических и магнитных величин. Международная система единиц (СИ). Соотношения, используемые при построении системы электромагнитных единиц. Определение единицы силы тока в СИ. Электродинамические постоянные.

Раздел V. Оптика

Элементы волновой теории света. Интерференция света. Электромагнитная природа света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Способы получения когерентных источников. Оптическая длина пути и оптическая разность хода лучей. Интерференция световых волн. Интерференция в тонких пленках.

Дифракция света. Дифракция световых волн. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Дифракция от щели. Дифракционная решетка. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах.

Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Поляризация света при отражении и преломлении. Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении. Методы получения линейно-поляризованного света. Интерференция поляризованного света. Вращение плоскости поляризации.

Элементы теории относительности. Принцип относительности Галилея. Оптика движущихся сред. Опыт Майкельсона-Морлея. Постулаты Эйнштейна. Преобразование Лоренца. Релятивистское изменение длин и промежутков времени.

Релятивистский закон сложения скоростей. Опыт Физо. Эффект Доплера. Релятивистская механика. Релятивистские законы сохранения импульса и энергии. Связь между массой и энергией. Возможность существования частиц с массой покоя, равной нулю.

Взаимодействие света с веществом. Нормальная и аномальная дисперсии. Электронная теория дисперсии света. Рассеяние света. Поглощение света. Связь дисперсии с поглощением. Спектры поглощения и цвета тел. Фазовая и групповая скорости света.

Тепловое излучение. Тепловое равновесное излучение. Абсолютно черное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Формула Релея-Джинса. «Ультрафиолетовая катастрофа». Гипотеза Планка о квантовом характере излучения. Формула Планка.

Квантовая природа света. Фотоэлектрический эффект. Основные законы фотоэффекта. Корпускулярные свойства излучения. Фотоны. Энергия, импульс, масса фотона. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Опыты Лебедева. Давление света. Эксперименты по расстоянию рентгеновских лучей веществом. Эффект Комптона. Опыт Боте.

Раздел VI. Физика атома. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц

Строение атома. Теория Бора. Опыты Резерфорда по рассеиванию α -частиц. Модель атома по Резерфорду. Следствия из модели Резерфорда. Спектры излучения атомов и их количественное описание. Модель атома Бора. Постулаты Бора. Теория водородоподобного атома Бора. Опыт Франка и Герца.

Элементы квантовой механики. Гипотеза де Бройля. Опыты Девиссона и Джермера. Формула де Бройля для свободной частицы. Границы применимости классической механики. Соотношение неопределенностей. Применение соотношения неопределенностей к решению квантово-механических задач. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Решение уравнения Шредингера для случая частицы в бесконечно глубокой «потенциальной яме». Энергетический спектр частицы в «потенциальной яме». Уравнение Шредингера для атома водорода.

Спин электрона. Магнитные свойства атома. Тонкая структура спектров щелочных металлов. Опыты Штерна и Герлаха. Понятие о спине электрона. Полный момент импульса электрона в атоме. Полный магнитный момент атома. Эффект Зеемана. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме.

Элементы квантовой теории кристаллов. Анизотропия кристаллов. Моно- и поликристаллы. Кристаллическая решетка. Виды межатомных связей в кристаллических телах. Квантовая теория теплоемкости Дебая. Фотоны.

Электронный газ. Энергетические зоны кристаллической решетки. Вырождение электронного газа. Функция Ферми. Энергия Ферми.

Диэлектрики и металлы. Изоляторы, проводники и полупроводники. Свойства диэлектриков с точки зрения зонной теории. Квантовая теория электропроводности, теплопроводности, контактных явлений. Сверхпроводимость – макроскопический квантовый эффект. Магнитные свойства металлов. Спиновая природа ферромагнетизма. Доменная структура ферромагнетиков. Анализ кривой намагничивания.

Полупроводники. Основные особенности структуры энергетических зон в полупроводниках. Собственная электронная и дырочная проводимость.

Доноры и акцепторы. Примесная проводимость. Явления на границе полупроводника с металлом. Контакт двух полупроводников различных типов (p -; n - переходы). Полупроводниковые диоды и триоды. Действие света на полупроводники.

Строение и свойства атомных ядер. Состав ядра: протоны и нейтроны. Основные характеристики нуклонов и ядер. Изотопы. Понятие о ядерных силах. Масса и энергия связи в ядре. Средняя энергия нуклонов и ее зависимость от массового числа. Неустойчивость тяжелых ядер по отношению к некоторым типам распада.

Радиоактивность. Ядерные реакции. Сущность явлений радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Типы радиоактивного распада. Основные характеристики α -распада, β -распада. Спектр β - частиц. Нейтрино. Гамма-излучения радиоактивных ядер. Понятие о ядерных реакциях. Законы сохранения в ядерных реакциях. Деление тяжелых ядер. Понятие об элементарных частицах.

РАЗДЕЛ IV. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Основные формулы

1. Связь магнитной индукции \vec{B} с напряженностью \vec{H} магнитного поля:

$$B = \mu\mu_0 H,$$

где μ – магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м). В вакууме $\mu = 1$, и тогда магнитная индукция в вакууме:

$$B = \mu_0 H.$$

2. Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \left[\frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2} \right] I, \text{ или } dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \sin \alpha}{r^2} dl,$$

где dB – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl с током I ; \vec{r} – радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой магнитная индукция вычисляется; α – угол между радиусом-вектором и направлением тока в элементе проводника.

3. Магнитная индукция в центре кругового тока:

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

где R – радиус кругового витка.

4. Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{\mu\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + h^2)^{3/2}},$$

где h – расстояние от центра витка до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

5. Магнитная индукция поля прямого тока:

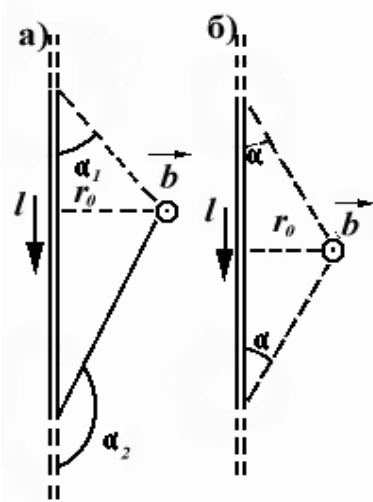
$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

где r_0 – расстояние от оси проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

6. Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рисунок, а):

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Обозначения ясны из рисунка. Направление вектора магнитной индукции \vec{B} обозначено точкой – это значит, что \vec{B} направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.



7. Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

где n – число витков соленоида, приходящееся на единицу длины.

8. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, закон Ампера:

$$\vec{F} = I[\vec{\ell}\vec{B}], \text{ или } F = IB\ell \sin \alpha,$$

где ℓ – длина проводника; α – угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции \vec{B} . Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника. Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу проводника в отдельности:

$$d\vec{F} = I[d\vec{\ell}\vec{B}].$$

9. Сила взаимодействия параллельных проводов с током:

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \cdot \ell,$$

где d – расстояние между проводами.

10. Магнитный момент контура с током:

$$\vec{p}_m = I \cdot \vec{S},$$

где I – сила тока, протекающего по контуру; S – площадь контура; вектор \vec{S} численно равен площади S контура и совпадает по направлению с вектором нормали к плоскости контура.

11. Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током, помещённый в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}], \text{ или } M = pB \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

12. Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле:

$$\Pi = -\vec{p}_m \vec{B} \text{ или } \Pi = -p_m B \cos \alpha.$$

За нулевое значение потенциальной энергии контура с током в магнитном поле принято расположение контура, когда вектор \vec{p}_m перпендикулярен вектору \vec{B} .

13. Отношение магнитного момента p_m к механическому L (моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите:

$$\frac{p_m}{L} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q}{m},$$

где Q – заряд частицы; m – масса частицы.

14. Сила Лоренца:

$$\vec{F} = Q[\vec{v}\vec{B}], \text{ или } F = QvB\sin\alpha,$$

где \vec{v} – скорость заряженной частицы; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

15. Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS\cos\alpha, \text{ или } \Phi = B_n S,$$

где S – площадь контура; α – угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS,$$

интегрирование ведётся по всей поверхности.

16. Потокосцепление (полный поток):

$$\Psi = N\Phi.$$

Эта формула верна для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу N витков.

17. Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$A = I\Delta\Phi.$$

18. Э.д.с. индукции:

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

19. Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью \vec{v} в магнитном поле:

$$U = B\ell v\sin\alpha,$$

где ℓ – длина проводника; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

20. Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур:

$$Q = \frac{\Delta\Phi}{r}, \text{ или } Q = \frac{N\Delta\Phi}{r} = \frac{\Delta\Psi}{r},$$

где r – сопротивление контура.

21. Индуктивность контура:

$$L = \frac{\Psi}{I}.$$

22. Э.д.с. самоиндукции:

$$\varepsilon_s = -L\frac{dI}{dt}.$$

Если частица находится одновременно в электрическом и магнитном полях, то под силой Лоренца понимают выражение

Магнитное поле, создаваемое прямым бесконечно длинным проводником ничтожно малого сечения, обладает осевой симметрией. Это значит, что абсолютная величина B магнитной индукции в данной точке будет зависеть

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

23. Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где n – число витков, приходящееся на единицу длины соленоида;

V – объём соленоида.

24. Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением r и индуктивностью L :

а) при замыкании цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{r} \left(1 - e^{-\frac{r}{L}t} \right),$$

где ε – э.д.с. источника тока; t – время, прошедшее после замыкания цепи;

б) при размыкании цепи:

$$I = I_0 e^{-\frac{r}{L}t},$$

где I_0 – значение силы тока в цепи при $t=0$; t – время, прошедшее с момента размыкания цепи.

25. Энергия магнитного поля:

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

26. Объёмная плотность энергии магнитного поля (энергия, заключенная в единице объёма):

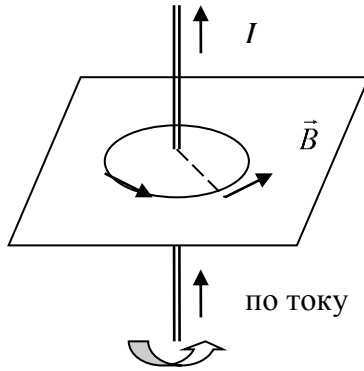
$$w = \frac{1}{2}BH, \text{ или } w = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu\mu_0}, \text{ или } w = \frac{1}{2} \mu\mu_0 H^2,$$

где B – магнитная индукция; H – напряжённость магнитного поля.

Примеры решения задач

Пример 1. По длинному прямому тонкому проводу течёт ток силой $I=12$ А. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводником в точке, удалённой от него на расстояние $r=2$ см.

Решение.



только от её расстояния до проводника. Поэтому все точки на окружности радиуса r (рисунок) лежащей в плоскости, перпендикулярной проводнику, будут иметь одинаковое значение магнитной индукции:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная.

Направление вектора \vec{B} зависит от положения точки на окружности и направления тока в проводнике. Этот вектор направлен по касательной к проведённой окружности (это следует из закона Био-Савара-Лапласа, записанного в векторной форме). Линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции, называется магнитной силовой линией. Окружность на рисунке удовлетворяет этому условию, а следовательно, является магнитной силовой линией. Направление магнитной силовой линии, а значит и вектора \vec{B} , определено по правилу правого винта.

В формулу (1) подставим числовые значения величин и произведём вычисления:

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{12}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \text{Тл} = 12 \cdot 10^{-5} \text{Тл} .$$

Пример 2. По двум параллельным бесконечно длинным проводам D и C , расположенным на расстоянии $d = 5$ см друг от друга, текут в одном направлении токи силой $I = 50$ А. Определить магнитную индукцию \vec{B} поля, создаваемого проводниками с током в точке A (рисунок), отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1 = 3$ см, от другого $r_2 = 7$ см.

Решение.

Для нахождения магнитной индукции \vec{B} в точке A воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направления магнитной индукции \vec{B}_1 и \vec{B}_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности и сложим их геометрически: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Абсолютное значение магнитной индукции B может быть найдено по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

где α – угол между векторами \vec{B}_1 и \vec{B}_2 .

Значения магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 выражаются соответственно через силу тока I и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки A :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставляя выражения B_1 и B_2 в формулу (1) и вынося $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$ за знак корня,

получим:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos \alpha}. \quad (2)$$

Вычислим $\cos \alpha$, заметив, что $\alpha = \angle DAC$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами), по теореме косинусов запишем:

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha,$$

где d – расстояние между проводами.

Отсюда

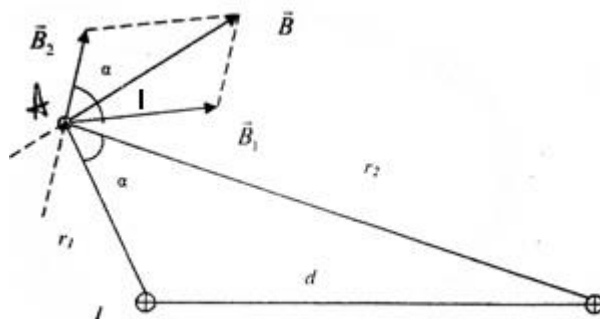
$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}.$$

После подстановки числовых значений получим:

$$\cos \alpha = \frac{3^2 + 7^2 - 5^2}{2 \cdot 3 \cdot 7} = \frac{33}{42}.$$

Подставляя в формулу (2) значения входящих величин, определяем искомую индукцию:

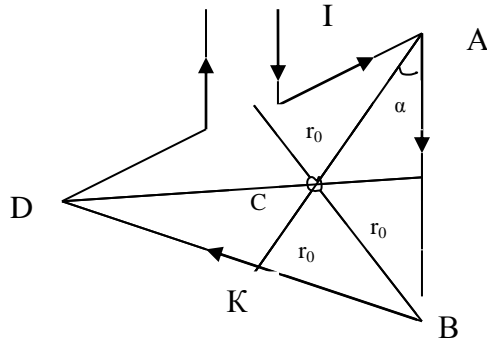
$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 50}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{0,03^2} + \frac{1}{0,07^2} + \frac{2}{0,03 \cdot 0,07} \cdot \frac{33}{42}} (\text{Тл}) = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{Тл}.$$



Пример 3. По контуру в виде равностороннего треугольника течёт ток силой $I = 60$ А. Сторона треугольника $a = 25$ см. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке пересечения высот (рисунок).

Решение.

Каждый участок проводника с током создаёт в точке C индукцию магнитного поля; так как треугольник правильный, то точка C располагается симметрично относительно D и B ; $B_1 = B_2 = B_3$.



$$B_1 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cos \alpha, \quad \alpha = 30^\circ,$$

где μ – магнитная проницаемость воздуха, равная 1;
 μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$$r_0 = \frac{1}{3} AK; \quad AK = AB \cos \alpha;$$

$$r_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 7,25 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Направление векторов $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ определяем по правилу буравчика.

Векторы $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ имеют одинаковое направление: все они направлены перпендикулярно плоскости чертежа от нас.

$$B_{\text{от "C"}} = 3B,$$

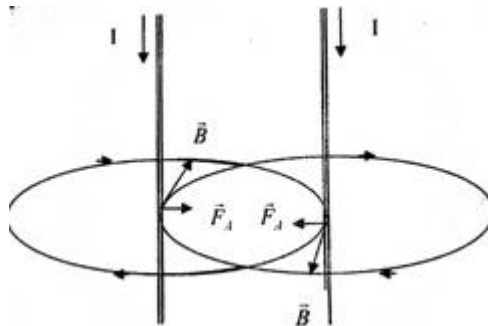
$$B_{\text{от "C"}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 0,97}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,25 \cdot 10^{-2}} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

Пример 4. По двум параллельным бесконечно длинным проводам, расположенным на расстоянии $r = 50$ см друг от друга, текут токи с одинаковой плотностью $j = 2 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$. Диаметр каждого проводника

$d = 0,4$ мм (рисунок). С какой силой, приходящейся на единицу длины каждого проводника, они притягиваются друг к другу?

Среда – воздух.

Решение.



Индукция магнитного поля каждого прямого проводника с током на расстоянии r от него равна:

$$B = \mu\mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}, \quad (1)$$

где $I = j \cdot S$ – сила тока.

В каждом из двух проводников площадь поперечного сечения равна:

$$S = \pi \frac{d^2}{4}.$$

С учетом этого:

$$B = \frac{\mu\mu_0 \cdot j \cdot \pi \cdot d^2}{8\pi \cdot r} = \mu\mu_0 \cdot j \cdot \frac{d^2}{8r}. \quad (2)$$

В этом магнитном поле на второй проводник действует сила Ампера:

$$F_A = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha,$$

где ℓ – длина проводника; α – угол между направлением тока в проводнике и направлением вектора индукции \vec{B} магнитного поля.

Так как $\alpha = 90^\circ$, то $\sin \alpha = 1$ и $F_A = B \cdot I \cdot \ell$, откуда

$$\frac{F_A}{\ell} = B \cdot I. \quad (3)$$

Введя (1) и (2) в (3), получим:

$$\left[\frac{F_A}{l} \right] = \mu\mu_0 \cdot j \cdot \frac{d^2}{8r} \cdot j \cdot \pi \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \mu\mu_0 \frac{\pi}{2r} \left(\frac{jd^2}{4} \right) \left(\frac{jd^2}{4} \right)^2.$$

Введя в эту формулу числовые значения физических величин, произведём вычисления:

Проверим единицу измерения полученной величины:

$$\left[\frac{F_A}{l} \right] = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А}^2 \cdot \text{м}^4}{\text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^4} = \frac{\text{В} \cdot \text{С} \cdot \text{А}^2}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Пример 5. Плоский квадратный контур со стороной $a = 5$ см, по которому течёт ток силой $I = 70$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1$ Тл) (рисунок). Определить работу A , совершённую внешними силами при повороте контура относительно оси, $\varphi = 90^\circ$. При повороте контура сила тока в нём поддерживается неизменной.

Решение.

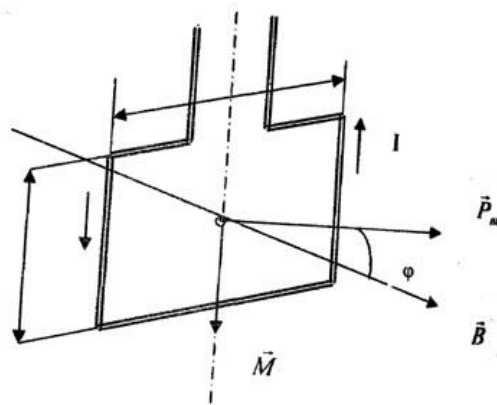
На контур с током действует момент сил:

$$M = P_m B \sin \varphi, \quad (1)$$

где P_m – магнитный момент контура; B – магнитная индукция; φ – угол между \vec{P}_m и \vec{B} .

По условию задачи в начальном положении контур установился в магнитном поле. При этом $M=0$, значит $\varphi=0$, т.е. векторы \vec{P}_m и \vec{B} совпадают по направлению.

Если внешние силы выведут контур из положения равновесия, то возникший момент сил, определяемый формулой (1), будет стремиться вернуть контур в исходное положение. Против этого момента и будет совершаться работа внешними силами.



Так как момент сил переменный, то для подсчёта работы применим формулу работы в дифференциальной форме $dA = Md\varphi$. Подставив сюда выражение M по формуле (1) и учтя, что $P_m = I \cdot S = I \cdot a^2$, получим:

$$dA = I B a^2 \sin \varphi \cdot d\varphi;$$

$$A = 2 \int_0^{\phi} B a^2 \sin \varphi \cdot d\varphi = I \cdot B \cdot a^2 \int_0^{\phi} \sin \varphi \cdot d\varphi. \quad (2)$$

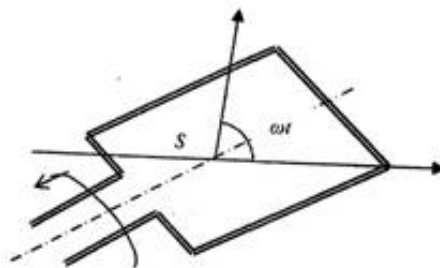
Работа при повороте на угол $\varphi_1 = 90^\circ$:

$$A_1 = I \cdot B \cdot a^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi \cdot d\varphi = I \cdot B \cdot a^2 \left| -\cos \varphi \right|_0^{\frac{\pi}{2}} = I \cdot B \cdot a^2,$$

$$A = 70 \cdot 1 \cdot (0,05)^2 \text{ Дж} = 0,175 \text{ Дж}.$$

Пример 6. Соленоид содержит $N = 4000$ витков провода, по которому течёт ток силой $I = 20$ А (рисунок). Определить магнитный поток Φ и потокосцепление ψ , если индуктивность $L = 0,4$ Гн.

Решение.



Индуктивность связана с потокосцеплением ψ и силой тока соотношением

$$\psi = L \cdot I. \quad (1)$$

Потокосцепление, в свою очередь, может быть выражено через поток Φ и число витков N :

$$\psi = N \cdot \Phi. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) находим ψ :

$$\psi = L \cdot I = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Вб};$$

$$\Phi = \frac{L \cdot I}{N} = \frac{\psi}{N} = \frac{8}{4000} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

Задачи для контрольной работы

321. Магнитная стрелка помещена в центре кругового витка, плоскость которого расположена вертикально и составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с плоскостью магнитного меридиана. Радиус витка $R = 20$ см. Определить угол α , на который повернётся магнитная стрелка, если по проводнику пойдёт ток силой $I = 25$ А (дать два ответа). Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной $B = 20$ мкТл.

322. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи силой $I_1 = 100$ А и $I_2 = 50$ А. Расстояние между проводниками $d = 20$ см. Определить индукцию \vec{B} магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.

323. Ток силой $I = 50$ А течёт по проводнику, согнутому под прямым углом. Найти напряжённость \vec{H} магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $b = 20$ см. Считать, что оба конца проводника находятся далеко от вершины угла.

324. По контуру в виде равностороннего треугольника течёт ток силой $I = 50$ А. Сторона треугольника $a = 20$ см. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке пересечения высот.

325. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 8$ см и $b = 12$ см, течёт ток силой $I = 50$ А. Определить напряжённость \vec{H} и индукцию \vec{B} магнитного поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

326. По двум параллельным проводам длиной $\ell = 3$ мм каждый текут одинаковые токи силой $I = 500$ А. Расстояние между проводниками $d = 10$ см. Определить силу \vec{F} взаимодействия проводников.

327. По трём параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 20$ см друг от друга, текут токи одинаковой силы $I = 400$ А. В двух проводах направление токов совпадает. Вычислить силу F , действующую на единицу длины каждого провода.

328. Напряжённость H магнитного поля в центре кругового витка равна 500 А/м. Магнитный момент витка $p_m = 6$ А·м². Вычислить силу тока I в витке и радиус R витка.

329. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 250$ см², содержащая $N = 500$ витков провода, по которому течёт ток силой $I = 5$ А, помещена в однородное магнитное поле напряжённостью $H = 1000$ 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.

330. Виток радиусом $R = 20\text{ см}$, по которому течёт ток силой $I = 50\text{ А}$, свободно установился в однородном магнитном поле напряжённостью $H = 10^3\text{ А/м}$. Виток повернули относительно диаметра на угол $\varphi = 30^\circ$. Определить совершённую работу A .

331. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2\text{ Тл}$ под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца \vec{F}_L , если скорость частицы $v = 10,5\text{ А/м}$.

332. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,01\text{ Тл}$. Определить момент импульса L , которым обладала частица при движении в магнитном поле, если радиус траектории частицы равен $R = 0,5\text{ мм}$.

333. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100\text{ см}^2$. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50\text{ А}$, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию B магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа $A = 0,4\text{ Дж}$.

334. Рамка площадью $S = 100\text{ см}^2$ равномерно вращается с частотой $n = 5\text{ с}^{-1}$ относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,5\text{ Тл}$). Определить среднее значение э.д.с. индукции $\langle \varepsilon_i \rangle$ за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения.

335. Рамка, содержащая $N = 1000$ витков, площадью $S = 100\text{ см}^2$, равномерно вращается с частотой $n = 10\text{ с}^{-1}$ в магнитном поле напряжённостью $H = 10^4\text{ А/м}$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряжённости. Определить максимальную э.д.с. индукции ε_{max} , возникающую в рамке.

336. В однородном магнитном поле ($B = 0,1\text{ Тл}$) равномерно с частотой $n = 5\text{ с}^{-1}$ вращается стержень длиной $\ell = 50\text{ см}$ так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряжённости, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .

337. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,5\text{ Тл}$ вращается с частотой $n = 10\text{ с}^{-1}$ стержень длиной $\ell = 20\text{ см}$. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов U на концах стержня.

338. В проволочное кольцо, присоединённое к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошёл заряд $Q = 50\text{ мкКл}$. Определить изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра $r = 100\text{ Ом}$.

339. Силу тока в катушке равномерно увеличивают при помощи реостата на $\Delta I = 0,6 \text{ А}$ в секунду. Найти среднее значение э.д.с. $\langle \varepsilon_i \rangle$ самоиндукции, если индуктивность катушки $L = 5 \text{ мГн}$.

340. Соленоид содержит $N = 800$ витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала) $S = 10 \text{ см}^2$. По обмотке течёт ток, создающий поле с индукцией $B = 8 \text{ мТл}$. Определить среднее значение э.д.с. $\langle \varepsilon_c \rangle$ самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если ток уменьшается практически до нуля за время $\Delta t = 0,8 \text{ мс}$.

341. По катушке индуктивностью $L = 8 \text{ мкГн}$ течёт ток силой $I = 6 \text{ А}$. При выключении тока он изменяется практически до нуля за время $\Delta t = 5 \text{ мс}$. Определить среднее значение э.д.с. $\langle \varepsilon_c \rangle$ самоиндукции, возникающей в контуре.

342. В электрической цепи, имеющей сопротивление $r = 20 \text{ Ом}$ и индуктивность $L = 0,06 \text{ Гн}$, течёт ток силой $I = 20 \text{ А}$. Определить силу тока в цепи по истечении $\Delta t = 0,2 \text{ мс}$ после её размыкания.

343. По проводнику, изогнутому в виде кольца радиусом $R = 20 \text{ см}$, содержащему $N = 500$ витков, течёт ток силой $I = 1 \text{ А}$. Определить объёмную плотность ω энергии магнитного поля в центре кольца.

344. При какой силе тока I в прямолинейном проводе бесконечной длины на расстоянии $r = 5 \text{ см}$ от него объёмная плотность энергии магнитного поля будет $\omega = 1 \text{ мДж/м}^3$?

345. Обмотка соленоида содержит $n = 20$ витков на каждый сантиметр длины. При какой силе тока I объёмная плотность энергии магнитного поля будет $\omega = 0,1 \text{ Дж/м}^3$? Сердечник выполнен из немагнитного материала, и магнитное поле во всём объёме однородно.

346. В соленоиде сечением $S = 5 \text{ см}^2$ создан магнитный поток $\Phi = 20 \text{ мкВб}$. Определить объёмную плотность ω энергии магнитного поля соленоида. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всём объёме соленоида считать однородным.

347. Магнитный поток Φ в соленоиде, содержащем $N = 1000$ витков, равен $0,2 \text{ мВб}$. Определить энергию W магнитного поля соленоида, если сила тока, протекающего по виткам соленоида, $I = 1 \text{ А}$. Сердечник отсутствует. Магнитное поле во всём объёме соленоида считать однородным.

348. Какую работу надо совершить, чтобы передвинуть провод длиной $1,5 \text{ м}$ и током 5 А вдоль бесконечного прямого тока в 10 А на расстояние 2 м ? Проводники лежат в одной плоскости и всегда перпендикулярны друг другу. Расстояние между концом провода и прямым током всегда равно 15 см .

349. Определить, сколько витков проволоки, вплотную прилегающих друг к другу, диаметром $0,5 \text{ мм}$ с изоляцией ничтожной толщины надо намотать на картонный цилиндр диаметром $1,5 \text{ см}$, чтобы получить однослойную катушку индуктивностью 100 мГн .

350. Обмотка электромагнита имеет сопротивление цепи 20 Ом и индуктивность 0,1 Гн. Сила тока до размыкания цепи 50 А. Определить энергию магнитного поля электромагнита через 0,01 с после размыкания цепи.

351. Найти зависимость от времени магнитного потока, пронизывающего две квадратные рамки со сторонами 5 см, вращающиеся в магнитном поле с индукцией 0,02 Тл так, что поле перпендикулярно осям вращения. У первой рамки эта ось проходит через одну из сторон, а у второй через середину рамки, параллельно двум ее сторонам. Период вращения 0,5 с.

352. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 0,2 Гн. Через какое время сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?

353. Заряд влетает с постоянной скоростью в однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл перпендикулярно линиям индукции. В течение времени $\Delta t = 10^{-4}$ с параллельно индукции магнитного поля действует электрическое поле с напряженностью 100 В/м. Вычислить постоянный шаг спирали для времени $t = \Delta t$, считая, что за это время частица делает один оборот.

354. Катушка диаметром 10 см, имеющая 500 витков, находится в магнитном поле. Чему будет равно среднее значение э.д.с. индукции в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение 0,1 с от 0 до 2 Тл?

355. При силе тока 2 А объемная плотность энергии магнитного поля соленоида 0,2 Дж/м³. Сколько витков на каждый метр длины содержит обмотка соленоида?

356. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью 10⁶ м/с. Индукция магнитного поля равна 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Найти заряд частицы, если известно, что ее энергия равна 12 кэВ.

357. По обмотке катушки с сопротивлением 23 Ом и индуктивностью 0,1 Гн течет постоянный ток 5 А. Определить энергию магнитного поля соленоида через 10 м · с после отключения источника тока.

358. На непроводящий шар (глобус) намотаны по меридианам три витка проволоки так, что угол между плоскостями соседних витков составляет 60°. Найти напряженность поля в центре. Радиус шара 1 м, ток в витках 2 А.

359. Какую работу надо совершить, чтобы переместить небольшое кольцо с током 0,5 А радиусом 1,5 см с расстояния 20 см в центр большого кольца радиусом 7,5 см и током 2 А? Токи текут в разных направлениях. Кольца имеют общую центральную ось и расположены перпендикулярно к ней. Считать поле через малое кольцо практически однородным.

360. Протон влетает в однородное магнитное поле под углом 30° к направлению поля и движется по винтовой линии радиусом 1,5 см. Индукция магнитного поля равна 0,1 Тл. Найти кинетическую энергию протона.

361. Индуктивность катушки 0,5 Гн. Она включена в цепь с источником тока. Источник тока отключили, не размыкая цепи. Время, через которое сила тока уменьшилась до 0,01 первоначального значения, равно 0,07 с. Определить сопротивление катушки.

362. Бесконечно длинный тонкий проводник с током силой 50 А имеет изгиб (плоскую петлю). Определить радиус петли, если магнитная индукция поля в центре петли равна 286 мкТл.

363. В соленоиде при токе 5 А энергия магнитного поля 10^{-3} Дж. Сопротивление обмотки 10 Ом. Какой заряд пройдет по обмотке при равномерном уменьшении тока в 5 раз? На сколько изменится энергия магнитного поля?

364. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Индуктивность первой катушки 0,2 Гн, второй – 0,8 Гн. Сопротивление второй катушки 600 Ом. Какой ток потечет во второй катушке, если ток 0,3 А, текущий в первой катушке, выключить в течение 0,001 с?

365. Определить энергию магнитного поля соленоида, содержащего 500 витков, которые намотаны на картонный каркас радиусом 2 см и длиной 0,5 м, если по нему идет ток 5 А.

366. Плоский квадратный контур со стороной $a = 10$ см, по которому течет ток $J = 100$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1$ Тл). Определить работу, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1) $\varphi_1 = 90^\circ$; 2) $\varphi_2 = 3^\circ$. При повороте контура сила тока в нем поддерживается постоянной.

367. Имеется катушка индуктивностью 0,1 Гн и сопротивлением 0,8 Ом. Определить, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через 30 мс, если источник тока отключить и катушку замкнуть накоротко.

368. Какую разность потенциалов прошел электрон в электрическом поле, если после того, как он попал в однородное магнитное поле с напряженностью 100 А/м, он стал двигаться по окружности радиусом 1 м?

369. Соленоид, имеющий 200 витков, находится в магнитном поле, индукция которого увеличивается от 2 до 6 Тл в течение 0,1 с. Определить среднее значение э.д.с. индукции в соленоиде, если его площадь 80 см². Плоскость витков перпендикулярна силовым линиям поля.

370. Определить индуктивность катушки, если при изменении силы тока от 5 до 10 А за 0,1 с в ней возникает э.д.с. самоиндукции 10 В.

371. Энергия магнитного поля контура изменилась на 0,8 Дж при изменении тока в нем от 3 до 6,5 А. Определить время изменения тока и индуктивность контура, если э.д.с. самоиндукции 340 мВ.

372. Соленоид длиной 10 см и площадью поперечного сечения 3 см², содержащий 1000 витков, может быть подключен к источнику э.д.с. 12 В. Определить силу тока через 0,01 с после замыкания ключа.

373. Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения 2 см² имеет индуктивность $2 \cdot 10^{-7}$ Гн. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 10^3 Дж/м³?

374. Электрон, обладая скоростью 10 М м/с, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля 0,1 мТл. Определить нормальное и тангенциальное ускорение электрона.

375. По длинному соленоиду с немагнитным сердечником сечением 5 см^2 , содержащему 1200 витков, течет ток силой 2 А. Индукция магнитного поля в центре соленоида 10 мТл. Определить его индуктивность.

376. В вершинах равностороннего треугольника со стороной 50 см расположены два одинаково направленных прямых тока по 30 А и противоположно направленный ток 10 А. Найти напряженность поля в центре треугольника.

377. Два прямых бесконечно длинных тока силой 20 и 30 А находятся на расстоянии 5 м друг от друга. Найти напряженность магнитного поля в точке, расположенной в 4 м от первого и в 3 м от второго тока.

РАЗДЕЛ V. ОПТИКА

Основные формулы

1. Скорость света в среде:

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

где c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления среды.

2. Оптическая длина пути луча света:

$$L = n\ell,$$

где ℓ – геометрическая длина пути луча в среде с показателем преломления n .

3. Оптическая разность хода двух лучей:

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

4. Зависимость оптической разности фаз с оптической разностью хода:

$$\Delta_\phi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda},$$

где λ – длина световой волны.

5. Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda, \quad (k=0, 1, 2, \dots).$$

Условие максимального ослабления света:

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

6. Оптическая разность хода лучей, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой плёнки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2},$$

или
$$\Delta = 2d \cos i_2 + \frac{\lambda}{2},$$

где d – толщина плёнки; n – показатель преломления плёнки; i_1 – угол падения; i_2 – угол преломления света в плёнке.

7. Радиус световых колец Ньютона в отражённом свете:

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}},$$

где k – номер кольца ($k = 1, 2, 3, \dots$); R – радиус кривизны линзы.

Радиус тёмных колец Ньютона в отражённом свете:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

8. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия

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

где a – ширина щели; k – порядковый номер максимума.

9. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решётке, определяется из условия

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где d – период дифракционной решётки.

10. Разрешающая способность дифракционной решётки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где $\Delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре, полученном посредством данной решётки; N – полное число щелей решётки.

11. Формула Вульфа-Брэгга:

$$2d \sin \Theta = k\lambda,$$

где Θ – угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла);

d – расстояние между атомными плоскостями кристалла.

12. Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21},$$

где i_1 – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

13. Закон Малюса:

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

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I – интенсивность этого света после анализатора; α – угол между направлениями колебаний света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если колебания падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает длинный свет без ослабления).

14. Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) в твёрдых телах:

$$\varphi = \alpha d,$$

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в растворах

$$\varphi = [\alpha] \rho d,$$

где $[\alpha]$ – удельное вращение; ρ – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

15. Релятивистская масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ или } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; v – её скорость; c – скорость света в вакууме; β – скорость частицы в долях скорости света ($\beta = \frac{v}{c}$).

16. Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы:

$$E = mc^2, \text{ или } E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где $E_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя частицы.

17. Полная энергия свободной частицы:

$$E = E_0 + T,$$

где T – кинетическая энергия релятивистской частицы.

18. Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$T = (m - m_0)c^2, \text{ или } T = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

19. Импульс релятивистской частицы:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ или } p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

20. Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы:

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2.$$

21. Закон Стефана-Больцмана:

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

где R_e – излучатель (энергетическая светимость) абсолютно чёрного тела; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура Кельвина.

22. Закон смещения Вина:

$$\lambda_0 = \frac{b}{T},$$

где λ_0 – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучателя; b – постоянная Вина ($b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$).

23. Энергия фотона:

$$\varepsilon = h\nu, \text{ или } \varepsilon = \hbar\omega,$$

где h – постоянная Планка; \hbar – постоянная Планка, делённая на 2π ; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

24. Масса фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

25. Импульс фотона:

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

26. Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + T = A + \frac{mv^2}{2},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; T – кинетическая энергия фотоэлектрона.

27. Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \text{ или } \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой ещё возможен фотоэффект; λ_0 – максимальная длина волны света, при которой ещё возможен фотоэффект; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

28. Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta),$$

или
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо свободным электроном; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

29. Комптоновская длина волны:

$$\Lambda = \frac{h}{m_0c}, \quad (\Lambda = 2,436 \text{ пм}).$$

30. Давление света при нормальном падении на поверхность:

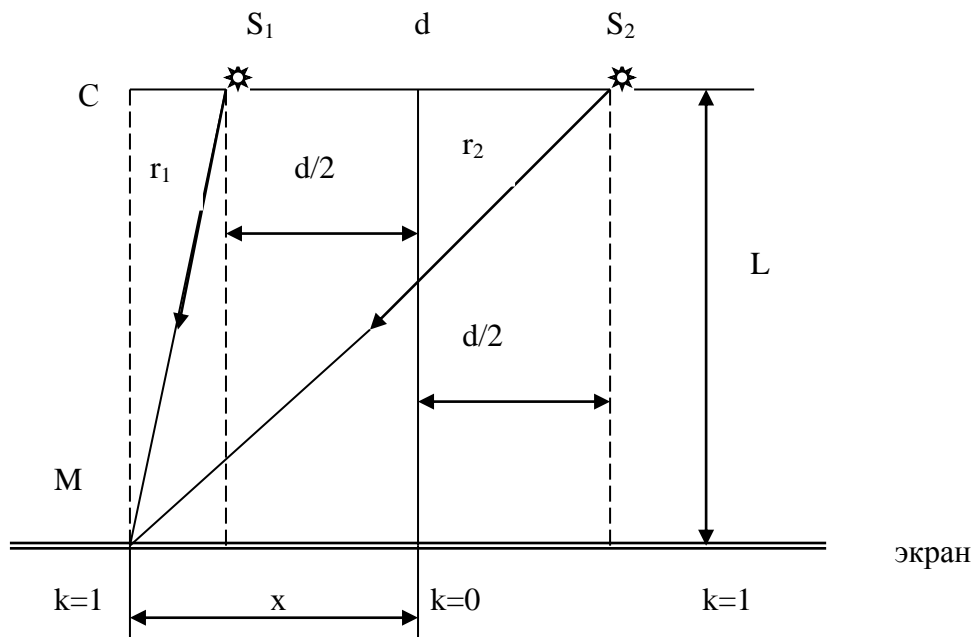
$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho) = \omega(1 + \rho),$$

где E – облучённость поверхности; ω – объёмная плотность лучистой энергии; ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Примеры решения задач

Пример №1. Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. На каком расстоянии x от точки O на экране располагается первый максимум освещённости ($k = 1$), если расстояние между источниками $d = 0,5$ мм, а расстояние от каждого источника до экрана $L = 2$ м.

Решение:



Пути лучей определим теоремой Пифагора: ΔS_1MC и ΔS_2MC

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad (1)$$

$$r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2, \quad (2)$$

$$r_2^2 - r_1^2 = 2xd, \text{ или } (r_2 + r_1) \cdot (r_2 - r_1) = 2xd.$$

Интерференционная картина будет чёткой, если расстояние $S_1S_2 = d$ между источниками невелико по сравнению с расстоянием их до экрана $MC = L$, т.к. $d \ll L$. В этом случае $r_1 + r_2 = 2L$ и $r_2 - r_1 = \frac{2xd}{2L}$, или $\Delta r = \frac{xd}{L}$, откуда

$$x = \frac{\Delta r L}{d}.$$

Согласно условию максимума освещённости при интерференции $\Delta r = k\lambda$.

С учётом этого $x = \frac{k\lambda L}{d} = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 2}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Пример №2. Расстояние между штрихами дифракционной решётки $d = 3$ мм. На решётку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0,58$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка падает на эту решётку?

Решение:

На основании формулы дифракционной решётки напишем выражение порядка дифракционного максимума:

$$m = \frac{d \sin \varphi}{\lambda}, \quad (1)$$

где d – период решётки; φ – угол между направлением на дифракционный максимум и нормалью к решётке; λ – длина волны монохроматического света.

Так как $\sin \varphi$ не может быть больше 1, то число m не может быть больше $\frac{d}{\lambda}$, т.е.

$$m \leq \frac{d}{\lambda}, \quad (2)$$

$$m \leq \frac{3 \cdot 10^{-6}}{0,58 \cdot 10^{-6}} \leq 5,17.$$

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то $m_{\max} = 5$.

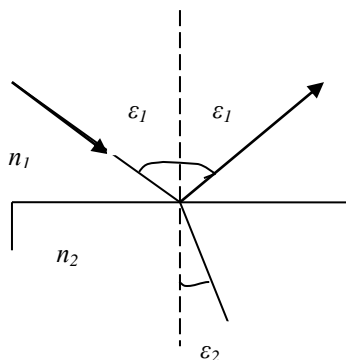
Пример №3. Пучок естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластинки, погружённой в жидкость. Отражённый от пластины пучок света составляет угол $\varphi = 97^\circ$ с падающим пучком. Определить показатель преломления n жидкости, если отражённый свет полностью поляризован.

Решение:

Согласно закону Брюстера, свет, отражённый от диэлектрика, полностью поляризован в том случае, если тангенс угла падения

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{1B} = n_{21},$$

где n_{21} – относительный показатель преломления второй среды (стекла) относительно первой (жидкости). Относительный показатель преломления равен отношению абсолютных показателей преломления этих сред.



Следовательно,

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{1B} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Согласно условию задачи, отражённый луч повернут на угол φ относительно падающего луча. Так как угол падения равен углу отражения, то $\varepsilon_{1B} = \frac{\varphi}{2}$ и, следовательно, $\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{n_2}{n_1}$, откуда $n_1 = \frac{n_2}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$.

Подставим числовые значения:

$$n_1 = \frac{1,5}{\operatorname{tg} \frac{97}{2}} = \frac{1,5}{1,13} = 1,53.$$

Пример №4. Максимум энергии излучения чёрного тела при некоторой температуре приходится на длину волны $\lambda_m = 1 \mu\text{м}$. Вычислить излучённость тела при этой температуре и энергию W , излучаемую с площади $S = 300 \text{ см}^2$ поверхности тела за время $t = 1 \text{ мин}$. Определить также массу, соответствующую этой энергии.

Решение:

Излучённость чёрного тела определим из закона Стефана-Больцмана:

$$R_0 = \sigma \cdot T^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана;

T – термодинамическая температура тела.

Из закона смещения Вина $\lambda_m = \frac{b}{T}$ определим

$$T = \frac{b}{\lambda_m}, \quad (2)$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум излучения при температуре T ; b – постоянная Вина.

Подставив выражение для T из (2) в (1), получим:

$$R_0 = \sigma \cdot \left(\frac{b}{\lambda_m}\right)^4. \quad (3)$$

Энергию, излучаемую с площади S поверхности тела за время t , определим по формуле

$$W = R_0 \cdot S \cdot t. \quad (4)$$

По закону Эйнштейна взаимосвязи энергии и массы

$$W = m \cdot c^2.$$

Найдём массу, соответствующую энергии излучателя:

$$m = \frac{W}{c^2}. \quad (5)$$

Проверим размерность (3):

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4) \cdot \left(\frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{м}}\right)^4} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Подставим числовые значения величин в формулы (3), (4), (5) и вычислим:

$$R_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}}\right) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 3,95 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 3,95 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2};$$

$$W = 3,95 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 60 \text{ Дж} = 7,1 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 7,1 \text{ МДж};$$

$$m = \frac{7 \cdot 10^6}{(3 \cdot 10^8)^2} \text{ кг} = 7,88 \cdot 10^{-10} \text{ кг}.$$

Пример 5. Определить импульс P и кинетическую энергию T частицы, движущейся со скоростью $v = 0,6 \cdot c$, где c – скорость света в вакууме.

Решение.

Импульсом частицы называется произведение массы частицы на её скорость:

$$P = mv. \quad (1)$$

Так как скорость электрона близка к скорости света, то необходимо учесть зависимость массы от скорости, определяемую по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (2)$$

где m – масса движущейся частицы; m_0 – масса покоящейся частицы; $\beta = \frac{v}{c}$ – скорость частицы, выражаемая в долях скорости света.

Заменив в формуле (1) массу m её выражением (2) и приняв во внимание, что $v = c\beta$, получим выражение для релятивистского импульса:

$$P = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \beta c = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}. \quad (3)$$

Подставим числовые значения величин, входящих в формулу (3):

$$P = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1-0,36}} \cdot 0,6 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{ м/с} = 20,5 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{ м/с} = 2,05 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{ м/с}$$

В релятивистской механике кинетическая энергия T частицы определяется как разность между полной энергией E и энергией покоя E_0 этой частицы, т.е. $T = E - E_0$. Так как $E = m \cdot c^2$, то $E_0 = m_0 \cdot c^2$. Учитывая зависимость массы от скорости, получим:

$$T = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 c^2,$$

или

$$T = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right). \quad (4)$$

Подставив числовые данные, выраженные в единицах СИ, найдём:

$$T = 9,110^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-0,36}} - 1 \right) \text{ Дж} = 8,81 \cdot 10^{-14} \cdot (1,25 - 1) \text{ Дж} = 2,2 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Во внесистемных единицах энергия покоя электрона $m_0 \cdot c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$.

Подставив это выражение в формулу (4), получим:

$$T = 0,51 \cdot 2,2 \cdot 10^{-13} = 1,12 \cdot 10^{-13} \text{ МэВ}.$$

Пример 6. Определить скорость v электрона, имеющего кинетическую энергию $T = 1,53 \text{ МэВ}$.

Решение.

В релятивистской механике кинетическая энергия T частицы определяется как разность между полной энергией E и энергией покоя E_0 этой частицы, т.е. $T = E - E_0$. Так как $E = m \cdot c^2$ и $E_0 = m_0 \cdot c^2$, то, учитывая зависимость массы от скорости, получим:

$$T = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 c^2, \quad (1)$$

где m_0 – масса покоящейся частицы.

$$1 - \beta = \left(\frac{m_0 c^2}{T + m_0 c^2} \right);$$

$$v^2 = c^2 - \frac{m_0 c^4}{T + m_0 c^2} \cdot c^2; \quad (2)$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0 c^2}{T + m_0 c^2} \right)^2}.$$

Во внесистемных единицах энергия покоя равна $m_0 \cdot c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$.

Подставив числовые значения, найдём:

$$v = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{0,51}{1,53 + 0,51} \right)^2} = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,968 = 2,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Пример 7. Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно чёрного тела, $\lambda_0 = 0,6$ мкм . Определить температуру T тела.

Решение.

Температуру T можно вычислить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_0 = \frac{b}{T}, \quad (1)$$

где b – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулу (1), получим:

$$T = \frac{b_0}{\lambda_0} b. \quad (2)$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в эту формулу: $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ мк, $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7}$ м.

Подставим числовые значения в формулу (2), произведём вычисления:

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-7}} = 4833 \text{ К.}$$

Пример 8. На цинковую пластину падает пучок ультрафиолетовых лучей ($\lambda = 0,2$ мкм). Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} и максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов.

Решение.

Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$E = A + T_{max}, \quad (1)$$

где E – энергия фотонов, падающих на поверхность металла; A – работа выхода; T_{max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергия фотона вычисляется также по формуле

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (2)$$

где h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; λ – длина волны.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле

$$T = \frac{m_0 c^2}{2}, \quad (3)$$

или по релятивистской формуле

$$T = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right), \quad (4)$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону.

Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект. Если энергия E фотона много меньше энергии покоя E_0 электрона, то может быть применена формула (3), если же E сравнима по величине с E_0 , то вычисление по формуле (3) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4).

1. Вычислим энергию фотона ультрафиолетовых лучей по формуле (2):

$$E_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} \text{ Дж} = 9,945 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

или

$$E_1 = \frac{9,945 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ}.$$

Полученная энергия фотона (6,22 эВ) много меньше энергии покоя электрона (0,51 МэВ). Следовательно, для данного случая кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (3):

$$E_1 = A + \frac{m_0 \cdot v_{max}^2}{2},$$

откуда

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2(E_1 - A)}{m_0}}. \quad (5)$$

Выпишем числовые значения величин:

$$E_1 = 9,945 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

$$A = 4,7 \text{ эВ} = 4,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,75 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}.$$

Подставив числовые значения в формулы (3) и (5), найдём:

$$T = \frac{m_0 c^2}{2} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{2} = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ Дж};$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot (9,945 \cdot 10^{-19} - 0,75 \cdot 10^{-18})}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 7,3 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Пример 9. Параллельный пучок монохроматических лучей с длиной волны $\lambda = 0,663 \text{ мкм}$ падает на зачернённую поверхность и производит на неё давление $P = 0,3 \text{ мкПа}$. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке.

Решение.

Концентрация n фотонов в пучке может быть найдена как частное от деления объёмной плотности энергии ω на энергию E одного фотона:

$$n = \frac{\omega}{E}. \quad (1)$$

Из формулы $P = \omega(1 + \rho)$ определяющей давление света, где ρ – коэффициент отражения, найдём:

$$\omega = \frac{P}{\rho + 1}. \quad (2)$$

Подставив выражение для ω из уравнения (2) в формулу (1), получим:

$$n = \frac{P}{(\rho + 1)E}. \quad (3)$$

Энергия фотона зависит от частоты ν , а следовательно, и от длины световой волны λ :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (4)$$

Подставив выражение для энергии фотона в формулу (3), определим искомую концентрацию фотонов:

$$n = \frac{P \cdot \lambda}{(\rho + 1)hc} \quad (5)$$

Коэффициент отражения ρ для зачернённой поверхности принимаем равным нулю.

Подставив числовые значения в формулу (5), получим:

$$n = \frac{0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,663 \cdot 10^{-6}}{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,01 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3} = 10^{12} \text{ м}^{-3}.$$

Задачи для контрольной работы

378. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус r_3 третьего тёмного кольца Ньютона при наблюдении в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм равен $0,82$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 0,5$ м.

379. На тонкую глицериновую плёнку толщиной $d = 1,5$ мкм нормально к её поверхности падает белый свет. Определить длины волн λ лучей видимого участка спектра ($0,4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 0,8 \text{ мкм}$), которые будут ослаблены в результате интерференции.

380. На дифракционную решётку падает нормально параллельный пучок лучей белого света. Спектры третьего и четвёртого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвёртого порядка накладывается граница ($\lambda = 780$ нм) спектра третьего порядка?

381. На поверхность дифракционной решётки нормально к её поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решётки в $n = 4,6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически возможно наблюдать в данном случае.

382. На дифракционную решётку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проектируется помещённой вблизи решётки линзой на экран. Определить длину ℓ спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 12$ м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр} = 780$ нм, $\lambda_{ф} = 400$ нм.

383. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 4$ раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

384. Пластинку кварца толщиной $d = 2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53^\circ$. Какой наименьшей толщины d_{\min} следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно тёмным?

385. Луч света переходит из глицерина в стекло так, что луч, отражённый от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломлённым лучами.

386. При какой скорости γ -частицы (в долях скорости света) релятивистская масса любой частицы вещества в $n = 3$ раза больше массы покоя?

387. Скорость электрона $v = 0,8c$ (c – скорость света в вакууме). Зная энергию покоя электрона в мегаэлектрон-вольтах, определить в тех же единицах кинетическую энергию T электрона.

388. Протон имеет импульс $p = 469$ МэВ/с. Какую кинетическую энергию необходимо дополнительно сообщить протону, чтобы его релятивистский импульс возрос вдвое?

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

390. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс p , полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

391. На фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{\min} , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

392. На поверхность металла падают монохроматические лучи с длиной волны $\lambda = 0,1$ мкм. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,3$ мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

393. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ был рассеян на свободных электронах на угол $\vartheta = 150^\circ$. Определить энергию ε_2 рассеянного фотона.

394. Рентгеновские лучи ($\lambda = 1$ нм) рассеиваются электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны λ_{\max} рентгеновских лучей в рассеянном пучке.

395. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\vartheta = \frac{\pi}{2}$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ.

396. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\vartheta = 180^\circ$. Определить кинетическую энергию T электрона отдачи.

397. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 0,52$ мкм?

398. Какое количество энергии излучает Солнце за 1 мин? Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно чёрного тела. Температуру поверхности Солнца принять равной 5800 К.

399. Мощность излучения абсолютно чёрного тела равна 10 кВт. Найти величину излучающей поверхности тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, равна $7 \cdot 10^{-5}$ см.

400. Мощность излучения абсолютно чёрного тела равна 34 кВт. Найти температуру этого тела, если известно, что поверхность его равна $0,6$ м².

401. При какой температуре кинетическая энергия молекулы атомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны λ ?

402. Найти величину задерживающего потенциала для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом, длина волны которого равна $0,33$ мкм.

403. Красная граница эффекта для некоторого металла равна $0,275$ мкм. Чему равно минимальное значение фотона, вызывающее фотоэффект?

404. Найти величину задерживающего потенциала для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом, длина волны которого равна $0,33$ мкм ($A_{\text{вых}} = 2$ эВ), (1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

405. Лазерной установкой в течение 10 мин облучаются семена огурцов. Длина волны излучаемого света $\lambda = 632$ нм. Интенсивность излучения $J = 6$ Вт/м². Сколько фотонов прошло через перпендикулярную площадку $S = 1$ м² за 10 мин работы излучателя?

406. Произойдёт ли фотоэффект при освещении металла светом длиной волны $\lambda = 500$ нм? Работа выхода электрона из металла $A = 2$ эВ.

407. Работа выхода электронов с поверхности цезия $A = 1,89$ эВ. Определить кинетическую энергию фотоэлектронов, если металл освещён жёлтым светом длиной волны $\lambda = 589$ нм.

408. Максимум поглощения света -каротином соответствует длинам волн $\lambda_1 = 0,446$ мкм и $\lambda_2 = 0,476$ мкм. Определить энергию фотонов, поглощаемых -каротином.

409. На ядра животных и растительных клеток можно воздействовать ультрафиолетовым излучением длиной волны $\lambda = 254$ нм. Определить частоту и энергию фотонов этого излучения ($1,18 \cdot 10^{15}$ Гц; $7,83 \cdot 10^{-19}$ Дж).

410. Определить постоянную Планка, если известно, что фотоэлектроны, вырывающиеся с поверхности металла светом частотой

$2,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, полностью задерживаются обратным потенциалом 6,6 В, а вырываемые светом с частотой $4,6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – потенциалом 16,5 В.

411. Фотон с энергией 10 эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определить импульс, полученный пластинкой, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластины.

412. Пучок ультрафиолетового излучения ($\lambda = 100 \text{ нм}$) передаёт фотоэмиссионной поверхности мощность 10^{-6} Вт . Сколько фотонов попадает на поверхность каждую секунду? Если 1% фотонов выбивает фотоэлектроны, то чему будет равен электронный ток с поверхности?

413. Работа выхода для пластин равна 5,32 эВ. Чему равна наибольшая длина волны фотона, при которой он ещё может выбить из пластины фотоэлектрон?

414. Вычислить энергию фотонов, излучаемых гелий-неоновым лазером, если длина волны этого излучения 632 нм. Ответ выразить в джоулях и электрон-вольтах. Сколько фотонов излучает лазер в секунду, если его мощность 50 мВт?

415. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 0,8 \text{ В}$. Найти длину волны λ применяемого облучения и предельную длину волны λ_0 , при которой еще возможен фотоэффект.

416. Работа выхода для бария равна 2,48 эВ. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, выбитых из бария фотонами с длиной волны 200 нм?

417. Какое количество фотонов с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ попадает в глаз человека, если порог зрительного ощущения на этой волне составляет $3 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$.

418. Выберите какую-нибудь величину, которая когда-то считалась непрерывной, и расскажите, как была доказана её дискретная природа. Возьмите теперь какую-нибудь величину, которая считалась ранее дискретной, и покажите, как было доказано, что эта величина «расплывается».

419. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p = 4 \text{ мПа}$. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$.

420. Какое число фотонов падает на поверхность зерна за 5 мин (площадь освещаемой поверхности 4 мм^2), если фотоактивирование семян производят излучением гелий-неоновым лазером мощностью 25 мВт. Длина волны излучения 630 нм. Площадь пятна лазера $S = 1 \text{ см}^2$.

421. Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на неё давление $p = 4$ мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм² этой поверхности.

422. Ультрафиолетовое облучение сельскохозяйственных животных производят в лечебно-профилактических целях на длине волны 315 нм. Источник облучения даёт интенсивность облучения 15 мкВт/см². Какое количество фотонов попадает за 10 мин облучения на поверхность тела животного? Площадь облучения 1,5 м².

423. Известно, что солнечный свет регулирует развитие растений, действуя на фитохром в узле кушения. Определить количество фотонов, поглощённых в стебле растения, если на пути 8 см излучение на длине волны $5,55 \cdot 10^{-7}$ м ослабляется в 20 раз. Площадь облучения 3 мм². Мощность солнечного света 1 кВт/м², из них 0,05 мощности приходится на длину поглощённой энергии.

424. На фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{\min} , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

425. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p = 4$ мПа. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda = 0,5$ мкм.

426. Импульс, переносимый монохроматическим пучком фотонов через площадку $S = 2$ см² за время $t = 0,5$ мин, равен $p = 3 \cdot 10^{-9}$ кг · м/с. Найти для этого пучка энергию E , падающую на единицу площади за единицу времени.

427. Найти энергию E , импульс p фотона, если соответствующая ему длина волны $\lambda = 1,6$ пм.

428. На какую длину волны λ приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела, имеющего температуру, равную температуре $t = 37^\circ$ С человеческого тела, т.е. $T = 310$ К.

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

430. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для некоторого металла, $\lambda_0 = 275$ нм. Найти минимальную энергию E фотона, вызывающего фотоэффект.

431. Вычислить длину волны λ фотона, импульс которого равен импульсу электрона, обладающего скоростью $v = 10^4$ км/с.

432. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, имеющего кинетическую энергию $W = 10$ кэВ.

433. При открывающейся дверце печи внутри неё поддерживается температура 800°C . Размеры дверцы 22×15 см. Сколько энергии в секунду получает комната от печи через открытую дверцу?

434. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна $0,275$ мкм. Чему равно минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект?

435. Максимум испускательной способности Солнца приходится на длину волны $0,50$ мкм. Считая Солнце абсолютно чёрным телом (радиус $6,95 \cdot 10^8$ м, масса $1,97 \cdot 10^{30}$ кг), найти температуру его поверхности и излучаемую мощность.

436. Абсолютно чёрное тело испускает с каждого квадратного сантиметра поверхности за 1 мин энергию 340 Дж. Найти энергетическую светимость тела.

437. Поток энергии, излучаемой из окошка плавильной печи, равен 34 Вт, площадь окошка 6 см². Определить температуру в печи.

438. При увеличении термодинамической температуры абсолютно чёрного тела в 2 раза длина волны, на которую приходится максимум испускательной способности, уменьшилась на 400 нм. Найти начальную температуру тела, начальную энергетическую светимость тела.

439. Шар радиусом 10 см излучает как серое тело с поглотительной способностью $0,25$ и имеет энергетическую светимость $7,96 \cdot 10^3$ Вт/м². Найти мощность излучения шара и его температуру.

440. При остывании максимум испускательной способности сместился с фиолетовой границы видимого спектра (390 нм) на красную (780 нм). Считая тело абсолютно чёрным, найти, во сколько раз уменьшилась его температура и мощность излучения.

441. Максимальная скорость фотоэлектронов $3 \cdot 10^6$ м/с. Работа выхода электрона из металла равна $6,3$ эВ. Найти длину волны падающего излучения.

442. На уединённый медный шарик падает ультрафиолетовый свет с длиной волны $0,165$ мкм и заряжает шарик до потенциала 3 В. Найти работу выхода электрона.

443. Максимальная скорость фотоэлектронов, выбиваемых из платины γ - лучами, равна $3 \cdot 10^6$ м/с. Работа выхода электронов $6,3$ эВ. Найти длину волны γ - лучей.

444. На поверхность калия падают лучи с длиной волны 150 нм. Работа выхода электрона из калия равна $2,2$ эВ. Найти длину волны красной границы фотоэффекта; максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

445. На катод фотоэлемента падают лучи с длиной волны 200 нм. Работа выхода электрона из катода равна 2,34 эВ. Найти длину волны красной границы фотоэффекта; задерживающую разность потенциалов.

446. Ток в фотоэлементе прекращается при задерживающей разности потенциалов 1,7 В. Работа выхода электрона с поверхности катода равна 2,3 эВ. Найти длину волны падающего на катод излучения; максимальную скорость фотоэлектронов.

**РАЗДЕЛ VI. ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНОГО ЯДРА.
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ.
ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА**

Основные формулы

1. Элементарная боровская теория атома водорода

1. Момент импульса электрона (второй постулат Бора):

$$L_n = \hbar n \text{ или } m v_n r_n = \hbar n ,$$

где m – масса электрона; v_n – скорость электрона на n -й орбите; r_n – радиус n -й орбиты (разрешенной); \hbar – постоянная Планка ($\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); n – главное квантовое число ($n = 0, 1, 2, \dots$; в квантовой теории значение $n = 0$ не реализуется).

2. Радиус боровской орбиты:

$$r_n = a_0 n^2 ,$$

где $a_0 = 52,9$ пм – радиус первой боровской орбиты.

3. Энергия электрона в атоме водорода:

$$E_n = -\frac{E_i}{n^2} ,$$

где $E_i = 13,6$ эВ – энергия ионизации водорода.

4. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода:

$$\varepsilon = \hbar \omega = E_{n_2} - E_{n_1} ,$$

или

$$\varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} \right) - \left(\frac{1}{n_2^2} \right) ,$$

где n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

5. Спектроскопическое волновое число:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) ,$$

где λ – длина волны излучения или поглощения атомом; $R = 1,097 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга.

2. Волновые свойства частиц

6. Длина волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p} ,$$

где p – импульс частицы.

7. Импульс частицы:

а) в нерелятивистском случае:

$$p = m_0 v ;$$

б) в релятивистском случае:

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; m – релятивистская масса; v – скорость частицы; c – скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме.

8. Связь импульса частицы с кинетической энергией T :

а) в нерелятивистском случае:

$$p = \sqrt{2mT};$$

б) в релятивистском случае:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + T)T},$$

где E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0 c^2$).

9. Соотношение неопределённостей:

а) для координаты и импульса:

$$\Delta p_x \Delta x > \hbar,$$

где Δp_x – неопределённость проекции импульса на ось x ; Δx – неопределённость координаты;

б) для энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где ΔE – неопределённость энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

10. Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi(x) = 0,$$

где $\psi(x)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; E – полная энергия; $U = U(x)$ – потенциальная энергия частицы.

11. Плотность вероятности:

$$\frac{d\omega(x)}{dx} = [\psi(x)]^2,$$

где $d\psi(x)$ – вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx .

12. Вероятность обнаружения частицы в интервале значений от x_1 до x_2 :

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

13. Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика:

а) собственная нормированная волновая функция:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sin \frac{\pi n}{\ell} x_1;$$

б) собственное значение энергии:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m\ell^2} n^2,$$

где n – квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$); ℓ – ширина ящика. В области $0 \leq x \leq \ell$ $U = \infty$ и $\psi(x) = 0$.

3. Пространственная решётка кристалла

14. Молярный объём кристалла:

$$V_\mu = \frac{\mu}{\rho}, V_\mu = \frac{\mu}{\rho}$$

где μ – молярная масса; ρ – плотность кристалла.

15. Объём элементарной частицы в случае решётки кубической сингонии:

$$V_{\text{эл}} = a^3,$$

где a – параметр решётки.

16. Число элементарных ячеек в одном моле кристалла:

$$Z_\mu = \frac{V_\mu}{V_{\text{эл}}},$$

если кристалл состоит из одинаковых атомов, то

$$Z_\mu = \frac{N_A}{n},$$

где n – число одинаковых атомов, приходящихся на элементарную ячейку; N_A – число Авогадро.

17. Число элементарных ячеек в единице объёма кристалла:

$$Z = \frac{Z_\mu}{V_\mu},$$

если кристалл состоит из одинаковых атомов, то

$$Z = \frac{\rho}{n} \cdot \frac{N_A}{\mu}.$$

18. Параметр кубической решётки, состоящей из одинаковых атомов:

$$a = \sqrt[3]{\frac{n\mu}{\rho N_A}}.$$

19. Расстояние между соседними атомами в кубической решётке:

а) в гранецентрированной:

$$d = \frac{a}{\sqrt{2}};$$

б) в объёмно-центрированной:

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot a.$$

4. Теплоёмкость кристалла

20. Среднее значение энергии квантового одномерного осциллятора:

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{\hbar\omega}{e^{kT} - 1},$$

где ε_0 – нулевая энергия ($\varepsilon_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$); \hbar – постоянная Планка; ω – циклическая частота колебаний осциллятора; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

21. Молярная внутренняя энергия системы, состоящей из не взаимодействующих квантовых осцилляторов:

$$U = U_0 + 3R \frac{Q_E}{e^{\frac{\Theta_E}{T}} - 1},$$

где R – универсальная газовая постоянная; Θ_E – характеристическая температура Эйнштейна ($\Theta_E = \frac{\hbar\omega}{k}$); U_0 – молярная нулевая энергия (по Эйнштейну) ($U_0 = \frac{2}{3}R\Theta_E$).

22. Молярная теплоёмкость кристаллического твёрдого тела по Дебаю:

$$C_\mu = 3R \left[12 \left(\frac{T}{\Theta_D} \right) \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left(\frac{\Theta_D}{T} \right)^3}{e^{\frac{\Theta_D}{T}} - 1} \right],$$

где Θ_D – характеристическая температура Дебая ($\Theta_D = \frac{\hbar\omega_{max}}{k}$).

23. Молярная теплоёмкость кристаллического твёрдого тела в области низких температур (предельный закон Дебая):

$$C_\mu = \frac{12\pi^4}{5} R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 = 234R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3.$$

Эта формула справедлива при условии $T \ll \Theta_D$.

24. Теплота, необходимая для нагревания тела:

$$Q = \frac{m}{\mu} \int_{T_1}^{T_2} C_\mu dT,$$

где m – масса тела; μ – молярная масса; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры тела.

5. Элементы квантовой статистики

25. Распределение свободных электронов в металле по энергиям при абсолютном нуле:

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} \varepsilon^{\frac{1}{2}} d\varepsilon,$$

где $dn(\varepsilon)$ – концентрация электронов, энергии которых заключены в пределах от ε до $\varepsilon + d\varepsilon$; m – масса электрона.

Это выражение справедливо при $\varepsilon < \varepsilon_f$ (где ε_f – энергия или уровень Ферми).

26. Энергия Ферми в металле при $T = 0$:

$$\varepsilon_f = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{\frac{2}{3}},$$

где n – концентрация электронов в металле.

6. Полупроводники

27. Удельная проводимость собственных полупроводников:

$$\sigma = en(b_n + b_p),$$

где e – элементарный заряд; n – концентрация носителей тока электронов и дырок; b_n и b_p – подвижности электронов и дырок.

28. Напряжение на гранях прямоугольного образца при эффекте Холла, холловская разность потенциалов:

$$U_H = R_H B j a,$$

где R_H – постоянная Холла; B – магнитная индукция; j – плотность тока; a – ширина пластины (образца).

29. Постоянная Холла для полупроводников типа алмаз, германий, кремний и др., обладающих носителями тока одного вида (n или p):

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{en},$$

где n – концентрация носителей тока.

7. Магнетики

30. Связь магнитной индукции \vec{B} с напряжённостью \vec{H} магнитного поля в изотропном магнетике:

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

где μ – магнитная проницаемость среды; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

31. Намагниченность однородного изотропного магнетика:

а) рассчитанная на единицу объёма:

$$J = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}}{V};$$

б) молярная:

$$\vec{J}_\mu = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}}{\frac{m}{M}},$$

где \vec{p}_{mi} – магнитный момент i -й молекулы (атома); N – число молекул в объёме V ; m – масса магнетика; M – молярная масса*; ρ – плотность магнетика.

32. Магнитная восприимчивость однородного изотропного магнетика:

а) рассчитанная на единицу объёма:

$$\chi = \frac{J}{H};$$

б) молярная:

$$\chi_\mu = \frac{J_\mu}{H} = \frac{1}{\rho} \chi;$$

в) удельная:

$$\chi_{уд} = \frac{J_{уд}}{H} = \frac{1}{\rho} \chi,$$

где H – напряжённость магнитного поля.

33. Связь магнитной восприимчивости с магнитной проницаемостью:

$$\mu = 1 + \chi.$$

34. Намагниченность при насыщении в случае однородного изотропного магнетика:

$$\vec{J}_{нас} = n \vec{p}_m,$$

где n – концентрация молекул атомов с магнитным моментом \vec{p}_m .

35. Магнитная восприимчивость парамагнитного однородного изотропного магнетика при условии $p_m B \ll kT$:

$$\chi = \mu_0 \frac{n p_m^2}{3kT},$$

где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

36. Магнетон Бора:

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

где m_e – масса электрона; $\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-22}$ Дж/Т.

* Молярная масса в данном пособии обозначена всюду буквой μ , однако здесь во избежание недоразумения эта величина обозначена буквой M .

37. Частота ларморовой прецессии:

$$\omega_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{|e|}{m_b},$$

где B – магнитная индукция

8. Атомное ядро. Радиоактивность

38. Массовое число ядра (число нуклонов в ядре):

$$A = Z + N,$$

где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

39. Основной закон радиоактивного распада:

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

где N – число ядер, не распавшихся к моменту t ; N_0 – число ядер в начальный момент ($t = 0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

40. Число ядер, распавшихся за время t :

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}),$$

В случае, если промежуток времени Δt , за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$, то число распавшихся ядер можно определить по формуле

$$\Delta N = \lambda N \Delta t.$$

41. Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада:

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

42. Среднее время жизни τ радиоактивного ядра, т.е. промежуток времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз:

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

43. Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A,$$

где m – масса изотопа; μ – молярная масса; N_A – число Авогадро.

44. Активность A радиоактивного изотопа:

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

или

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времен dt ; A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

45. Удельная активность изотопа:

$$a = \frac{A}{m}.$$

46. Дефект массы ядра:

$$\Delta m = ZM_{\text{H}} + (A - Z)m_n - M,$$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ – число нейтронов в ядре; M_{H} – масса атома водорода; m_n – масса нейтрона; M – масса атома.

47. Энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta mc,$$

где Δm – дефект массы ядра; c – скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна:

$$E_{\text{св}} = 931\Delta m,$$

где Δm – дефект массы в а.е.м.; 931 – коэффициент пропорциональности (1 а.е.м. \sim 931 МэВ).

Задачи для контрольной работы

447. Во сколько раз уменьшится число атомов одного из изотопов радона за 1,91 суток? Период полураспада этого изотопа 3,82 суток.

448. Какая доля радиоактивных ядер кобальта, период полураспада которого 71,3 суток, распадется за месяц?

449. Сколько β -частиц испускает в течение 1 ч 1 мкг изотопа Na^{24} , период полураспада которого 15 ч?

450. Для ядер $^{113}_{48}\text{Cd}$ найти удельную энергию связи и вычислить дефект массы.

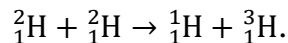
451. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если $5/8$ начального количества ядер этого изотопа распалось за 849 с.

452. Удельная энергия связи ядра $^{10}_4\text{Be}$ равна 6,93 МэВ. Найти массу этого изотопа.

453. За какое время распадается $1/4$ начального количества ядер радиоактивного изотопа, если его период полураспада 24 ч?

454. За 8 суток распалось $3/4$ начального количества ядер радиоактивного изотопа. Определить период полураспада.

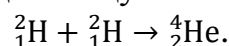
455. Дана реакция:



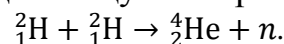
Найти количество энергии, выделяемой при участии в реакции двух ядер дейтерия.

456. За время 1,91 суток активность препарата, первоначально состоявшего из атомов одного элемента, уменьшилась в 1,414 раза. Найти постоянную распада, период полураспада (в сутках).

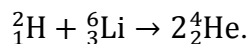
457. Найти энергию, выделяющуюся в реакции:



458. Найти энергию, выделяющуюся в реакции:



459. Предположим, что при взрыве водородной бомбы происходит реакция:



Найти энергию, выделяющуюся в этой реакции.

460. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на свободном электроне. Энергия ε рассеянного фотона равна $0,2$ МэВ. Определить угол рассеяния Θ .

461. Невозбуждённый атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны $\lambda = 102,6$ нм. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус r электронной орбиты возбуждённого атома водорода.

462. Вычислить по теории Бора радиус r_2 второй боровской орбиты и скорость v_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

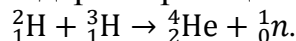
463. Вычислить по теории Бора период T обращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбуждённом состоянии, определённым главным квантовым числом $n = 2$.

464. Определить максимальную энергию ε_{\max} фотона серии Бальмара в спектре излучения атомарного водорода.

465. Определить энергию ε фотона, испускаемого атомом водорода при переходе электрона с третьей орбиты на вторую.

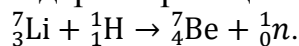
466. Найти наибольшую λ_{\max} и наименьшую λ_{\min} длины волн в ультрафиолетовой серии водорода (серия Лаймана).

467. Вычислить энергию ядерной реакции:

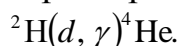


Освобождается или поглощается эта энергия?

468. Вычислить энергию ядерной реакции:



469. Вычислить энергию ядерной реакции:



470. Электрон и позитрон, имевшие одинаковые кинетические энергии $T = 0,51$ МэВ, при взаимодействии превратились в два одинаковых фотона. Определить энергию ε каждого фотона и соответствующую ему длину волны λ .

471. Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ сут уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.

472. Определить, какая доля радиоактивного изотопа ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в течение времени $t = 10$ сут.

473. Определить массу m изотопа ${}^{131}_{53}\text{I}$, имеющего активность $A = 37$ ГБк.

474. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта ${}^{60}_{27}\text{Co}$.

475. Счётчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $N_1 = 1400$ частиц в минуту, а через время $t = 4$ ч – только $N_2 = 400$. Определить $T_{1/2}$ полураспада изотопа.

476. Стронций имеет гранецентрированную кристаллическую решётку. Определить расстояние d между ближайшими соседними атомами, если параметр решётки $a = 0,605$ нм.

477. Найти плотность ρ кристалла неона, если известно, что решётка гранецентрированная, кубическая. Постоянная решётки $a = 0,451$ нм.

478. Найти среднее значение кинетической энергии $\langle \varepsilon_{\text{кин}} \rangle$ электронов в металле при абсолютном нуле, если уровень Ферми $\varepsilon_1 = 6$ эВ.

479. Удельная энергия связи ядра ${}^{10}_4\text{Be}$ равна 6,93 МэВ. Найти массу этого изотопа.

480. Период полураспада радона составляет 3,7 суток. Во сколько раз уменьшится радиоактивность радона за два дня?

481. Вычислить энергию ядерной реакции:
$${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^7_3\text{Li} + \Delta E.$$

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

1. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Вода	1,33	Стекло	1,5
Глицерин	1,47	Алмаз	2,42

2. Работа выхода электронов

Металл	Единица измерения	
	Дж	эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

3. Относительные атомные массы (атомные веса) A и порядковые номера некоторых элементов Z

Элемент	Символ	A	Z	Элемент	Символ	A	Z
Азот	N	14	7	Медь	Cu	64	29
Алюминий	Al	27	13	Молибден	Mo	96	42
Аргон	Ar	40	18	Натрий	Na	23	11
Водород	H	1	1	Неон	Ne	20	10
Вольфрам	W	184	74	Никель	Ni	59	28
Гелий	He	4	2	Олово	Sn	119	50
Железо	Fe	56	26	Платина	Pt	195	78
Золото	Au	197	79	Ртуть	Hg	201	80
Калий	K	39	19	Сера	S	32	16
Кальций	Ca	40	20	Серебро	Ag	108	47
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Углерод	C	12	6
Марганец	Mn	55	25	Хлор	Cl	35	17

4. Массы атомов лёгких изотопов

Изотоп	Символ	А.е.м.	Изотоп	Символ	А.е.м.
Нейтрон	1_0n	1,00867	Бор	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294
Водород	${}^1_1\text{H}$	1,00783	Углерод	${}^{11}_5\text{B}$	11,00930
Гелий	${}^2_1\text{H}$	2,01410		${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
	${}^3_1\text{H}$	3,01605		${}^{13}_6\text{C}$	13,00335
	${}^3_2\text{He}$	3,01603		${}^{14}_6\text{C}$	14,00324
	${}^4_2\text{He}$	4,00260			

Литий	${}^6_3\text{Li}$	6,01513	Азот	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307
	${}^7_3\text{Li}$	7,01601	Кислород	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491
Бериллий	${}^7_4\text{Be}$	7,01693		${}^{17}_8\text{O}$	16,99913
	${}^9_4\text{Be}$	9,01219			

5. Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Магний	${}^{27}_{12}\text{Mg}$	10 мин	Церий	${}^{144}_{58}\text{Ce}$	285 сут
Фосфор	${}^{32}_{15}\text{P}$	14,3 сут	Радон	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 сут
Кобальт	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 года	Радий	${}^{226}_{86}\text{Ra}$	1620 лет
Стронций	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	27 лет	Актиний	${}^{225}_{89}\text{Ac}$	10 сут
Йод	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 сут			

6. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-11}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,5 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

7. Единицы СИ, имеющие специальные наименования

Величина		Единица		
наименование	обозначение	наименование	Сокращенное название	выражение через основные и дополнительные единицы
1	2	3	4	5
<i>Основные единицы</i>				
Длина	L	метр	м	
Масса	M	килограмм	кг	
Время	T	секунда	с	
Сила электрического тока	I	ампер	А	
Термодинамическая температура	θ	кельвин	К	
Количество вещества	N	моль	моль	
Сила света	J	кандела	кд	
				5

1	2	3	4	
<i>Дополнительные единицы</i>				
Плоский угол Телесный угол	– –	радиан стерадиан	рад ср	
<i>Производные единицы</i>				
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot c^{-1}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-2}$
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3}$
Количество электричества (электрический заряд)	TI	кулон	Кл	$c \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	В	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3} A^{-1}$
Электрическая ёмкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарада	Ф	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot c^4 \cdot A$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot c^3 \cdot A^2$
Магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	Тл	$кг \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	Гн	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	кд · ср
Освещённость	$L^{-2}J$	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность изотопа (активность нуклида в радиоактивном источнике)		беккерель	Бк	c^{-1}
Поглощённая доза излучения	T^{-1} L^2I^{-2}	грей	Гр	$м^2 \cdot c^{-2}$

Примечания: 1. Кроме температуры Кельвина (обозначение T) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15$ К.

Температура Кельвина выражается в кельвинах, температура Цельсия – в градусах Цельсия (обозначение международное и русское °С).

2. Интервал или разность температур Кельвина выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

8. Внесистемные единицы, допущенные к применению в учебном процессе по физике (в соответствии со стандартом СЭВ 1052-78)

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Время *	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	...°	$\pi/180$ рад = $1,74 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	'	$\pi/10800$ рад = $2,91 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	..."	$\pi/648000$ рад = $4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
Объём, вместимость	литр	л	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Дж
	Энергия	электрон-вольт	эВ
Масса	тонна	т	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
	атомная единица	а.е.м.	1 м^{-1}
Оптическая сила	диоптрия	дптр	10^{-2}
Относительная величина	процент	%	10^{-3}
	промилле	‰	10^{-6}
	миллионная доля	млн ⁻¹	–
Логарифмическая величина	бел	Б	–
	децибел	дБ	–

* Допускается применение других единиц времени, получивших широкое применение, например, неделя, месяц, год и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики/ И.В Савельев – Санкт – Петербург; Москва: Лань; Краснодар, 2007.– Т. 2-3.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – Москва: Академия, 2007.
3. *Грабовский Р.И.* Курс физики. – Москва, 2007.
4. *Курс физики/ А.А. Детлаф [и др.]* – Москва, 1980. Т – 3.
5. *Епифанов Г.И.* Физика твёрдого тела. – М., 1970, 1977.
6. *Чечуев В.Я.* Элементы физики элементарных частиц / В.Я. Чечуев, С.В. Викулов; Новосибирский ГАУ. – Новосибирск, 2011.
7. *Чечуев В.Я.* Элементы квантовой механики/ В.Я. Чечуев, С.В. Викулов, Л.А. Митина; Новосибирский ГАУ. – Новосибирск, 2011.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Рабочая программа курса физики (часть II)	6
Контрольная работа № 3.....	10
Раздел IV. Электромагнетизм	10
Раздел V. Оптика	31
Контрольная работа № 4.....	53
Раздел VI. Физика атомов и атомного ядра. Элементарные частицы. Основы квантовой механики. Физика твердого тела	53
Библиографический список	69

Составители:
Дзю Искра Михайловна
Дзю Елизавета Леонидовна
Минаев Александр Павлович
Чечуев Владимир Яковлевич
Ершов Игорь Валерьевич

ФИЗИКА

Методические указания с заданиями для контрольной работы
Часть 2

Редактор Т.К. Коробкова
Компьютерная верстка Н.С. Пияр

Подписано к печати 2 февраля 2016г.
Формат 60x84 1/16. Объем 3,0 уч.-изд. л., 3,6 усл.-печ. л.
Тираж 100 экз. Изд. №109. Заказ №.646

Отпечатано в издательстве НГАУ «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова 160, офис 106.

Тел. факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru