

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ”

**Методические рекомендации и контрольные работы
по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов
1 курса заочного отделения фармацевтического факультета
часть 1**

Учебно - методическое пособие

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2010

Утверждено научно-методическим советом фармацевтического факультета
(протокол № от 24.06.2010 г.)

Составители: С.Д. Миловидова, А.С. Сидоркин, О.В. Рогазинская

Учебно – методическое пособие подготовлено на кафедре экспериментальной физики физического факультета Воронежского государственного университета.

Рекомендуется в качестве учебного пособия к выполнению контрольных работ по физике для студентов 1 курса заочного отделения фармацевтического факультета.

Работа выполнена при поддержке гранта VZ-010 Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) и по программе «Фундаментальные исследования и высшее образование»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4.
2. Рабочая программа по физике.....	5
3. Литература.....	9
4. Методические указания к выполнению и оформлению контрольных работ.....	10
5. Некоторые справочные данные.....	13
6. Примеры решения задач	16
7. Задачи для самостоятельного решения.	35

ВВЕДЕНИЕ

Учебный план по физике для студентов 1 курса фармацевтического факультета заочной формы обучения Воронежского госуниверситета в 1 семестре состоит из:

1. Лекций – 12 часов (январь).
2. Лабораторных занятий – 12 часов (январь).
3. Контрольной работы, которая выполняется после самостоятельного изучения соответствующих разделов физики по учебникам, список которых приводится ниже.- (сентябрь - ноябрь)

Контрольную работу по курсу общей физики необходимо выслать в деканат до 1 декабря.

К итоговому зачету по теоретическому материалу (1 сессия 1 курса, январь) допускаются студенты, которые получили зачет по контрольным работам, выполнили лабораторные работы и отчитались по ним.

В настоящем пособии приведены основные вопросы программы, список литературы по курсу общей физики и методические указания по выполнению и оформлению контрольной работы.

Изучать вопросы программы самостоятельно рекомендуется с карандашом и бумагой. После прочтения необходимого параграфа записать основные формулы с краткими пояснениями всех величин, входящих в них. Затем проверить, правильно ли записаны формулы по учебнику.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ФИЗИКЕ

ВВЕДЕНИЕ

Физика как фундаментальная естественная наука. Роль физики в познании окружающего мира. Значение физики для биофизики, медицины и фармации.

МЕХАНИКА

Кинематика. Скорость и ускорение при поступательном и вращательном движении материальной точки.

Динамика. Законы Ньютона. Уравнения движения. Законы сохранения (механической энергии и импульса). Упругие и неупругие центральные столкновения.

Масса и сила. Виды сил. Физические основы центрифугирования. Физические основы взвешивания на аналитических весах.

Движение твердого тела. Момент силы. Момент инерции. Основной закон динамики для вращательного движения. Момент импульса тела. Закон сохранения момента импульса тела

Механика жидкостей и газов. Вязкость. Уравнение Ньютона. Формула Пуазейля. Зависимость вязкости жидкости от температуры. Методы определения вязкости жидкости.

Использование этих методов для исследования веществ.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Гармонические колебания. Дифференциальное уравнение гармонического колебания. Смещение, скорость и ускорение колеблющегося тела. Энергия колеблющегося тела.

Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающего колебания. Логарифмический декремент затухания.

Вынужденные колебания. Резонанс. Автоколебания.

Сложение гармонических колебаний, направленных вдоль одной прямой. Сложное колебание и его гармонический спектр. Теорема Фурье.

Механические волны. Уравнение волны. Интерференция волн. Стоячие волны, как частный случай интерференции.

Звуковые волны. Физические характеристики звуковой волны и физиологические характеристики восприятия звука.

Ультразвук. Источники ультразвука. Особенности взаимодействия ультразвука с веществом. Использование ультразвука в медицине и фармации.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Отличия молекулярной структуры и свойств газов, жидкостей и твердых тел.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Скорости молекул газа. Средняя кинетическая энергия движения молекул газа. Степени свободы. Распределение энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа. Распределение Максвелла. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Средняя длина свободного пробега молекул газа.

Применение первого начала термодинамики к процессам в идеальном газе. Количество теплоты, работа и изменение внутренней энергии. Теплоемкости. Уравнение Майера. Молярные теплоемкости одноатомных, двухатомных, трехатомных и многоатомных идеальных газов. Зависимость теплоемкости газа от температуры.

Явления переноса. Общий вид уравнений переноса. Уравнения диффузии, вязкости и теплопроводности. Коэффициенты переноса и их связь с величинами, характеризующими молекулярную структуру вещества.

Реальные газы. Взаимодействие между молекулами газа. Внутренняя энергия реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение опытных и теоретических изотерм реального газа. Критическое состояние вещества. Сжижение газов. Применение низких температур в фармации и медицине.

Жидкости. Общие свойства и особенности молекулярного строения жидкостей. Молекулярное движение в жидкостях. Явления переноса в жидкостях и коэффициенты переноса. Теплопроводность.

Поверхностное натяжение. Энергия поверхностного слоя жидкости. Методы исследования поверхностного натяжения жидкости. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Основные характеристики электрического поля: напряженность и потенциал. Напряженность электрического поля диполя. Электрический момент диполя. Теорема Гаусса-Остроградского, ее применение для расчета электрических полей.

Проводники в электрическом поле. Емкость. Энергия заряженного конденсатора. Объемная плотность энергии электрического поля в вакууме и в диэлектриках.

Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость вещества. Диэлектрическая проницаемость биологических объектов. Пьезоэлектрический эффект.

Постоянный электрический ток. Плотность тока. Закон Ома в дифференциальной форме. Сопротивление проводников. Сверхпроводимость.

Элементы электронной теории проводимости твердых тел. Понятие о зонной теории твердых тел. Контактная разность потенциалов. Термоэлектродвижущая сила. Термопары. Термостолбики. Явление Пельтье, его применение в холодильниках. Применение термохолодильников в фармации и медицине.

Индукция магнитного поля. Напряженность магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение для расчета магнитных полей.

Действие магнитного поля на проводник с током. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Принцип действия циклотрона. Определение удельного заряда частиц. Физические основы масс-спектрокопии. Электронно-лучевая трубка.

Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты электрона, атома и молекулы. Вектор намагничивания. Магнитная проницаемость вещества. Формула, связывающая индукцию и напряженность магнитного поля. Магнитное поле в диамагнетиках и парамагнетиках. Строение и свойства ферромагнетиков. Магнитное поле в ферромагнетиках. Ферриты, их свойства и применение.

Электромагнитная индукция. Магнитный поток. Закон Фарадея - Ленца. Энергия магнитного поля. Вращение рамки в магнитном поле. Получение переменного тока.

Переменный ток. Индуктивность в цепи переменного тока. Емкость в цепи переменного тока. Полное сопротивление цепи переменного тока. Обобщенный закон Ома. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Электромагнитные колебания. Дифференциальные уравнения незатухающих и затухающих электромагнитных колебаний. Получение незатухающих колебаний.

Основные положения теории Максвелла. Уравнения электромагнитной волны. Энергия волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Применение электромагнитных волн в фармации и медицине.

ОПТИКА

Волновая оптика.

Интерференция света. Интерференция в тонких пленках. Интерферометры, их применение для анализа вещества.

Понятие о голографии и ее применение.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционная решетка. Дифракционный спектр. Применение дифракционной решетки. Разрешающая способность оптических приборов (дифракционной решетки, микроскопа).

Рассеяние света. Эффект Тиндаля. Молекулярное рассеяние. Закон Релея. Зависимость интенсивности и поляризации рассеянного света от отношения размера частиц к длине волны и от строения частиц дисперсной фазы.

Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта.

Рентгеновские лучи. Дифракция рентгеновских лучей. Простейшая рентгеновская трубка. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Характеристические рентгеновские спектры, их применение для химического анализа. Действие рентгеновского излучения на вещество. Применение рентгеновских лучей в медицине и фармации. Рентгеноструктурный анализ, его применение в биофизике, медицине, фармации.

Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация при отражении и преломлении света на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера. Поляризация при двойном лучепреломлении. Закон Малюса. Оптическая активность веществ. Удельное вращение. Поляриметры и их применение для исследования оптически активных веществ.

Геометрическая оптика. Рефрактометрия. Применение рефрактометрии в фармации. Волоконная оптика и ее применение.

Квантовая оптика.

Тепловое изучение тел. Закон Кирхгофа. Законы излучения черного тела (Вина и Стефана-Больцмана). Гипотеза Планка. Формула Планка. Особенности действия ультрафиолетового излучения, его бактерицидное действие. Инфракрасное излучение. Применение инфракрасного и ультрафиолетового излучения в медицине и фармации.

Взаимодействие электромагнитных волн с веществом.

Дисперсия света. Понятие о классической теории дисперсии света. Нормальная и аномальная дисперсии света. Применение дисперсии света в спектральных приборах.

Люминесценция. Источники люминесцентных излучений. Фосфоресценция и флюоресценция. Люминесцентный анализ и его применение в фармации и медицине. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

СТРОЕНИЕ АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

Строение атома. Модель атома Резерфорда. Постулаты Бора. Квантово-механическая модель атома. Квантовые числа. Электронные орбитали. Принцип Паули. Энергетические уровни атомов и молекул. Элементы квантовой физики. Волновые свойства движущихся микрочастиц. Длина волны де Бройля. Дифракция электронов, нейтронов и других частиц. Использование электронографии для исследования веществ. Принцип действия электронного микроскопа и его применение.

Излучение и поглощение энергии атомами и молекулами. Оптические спектры атомов. Спектр атома водорода. Спектральный анализ в фармации. Эмиссионные и абсорбционные спектры. Молекулярные спектры.

Понятие об индуцированном излучении. Инверсная заселенность. Принцип действия гелий-неонового лазера. Свойства лазерного излучения. Применение лазера в фармации и медицине.

Строение и свойства ядер. Атомное ядро. Заряд, масса и радиус ядра. Магнитный момент ядра. Ядерные силы. Энергия связи частиц в ядре. Связь между массой и энергией. Дефект массы. Устойчивость ядер. Радионуклиды. Способ освобождения энергии ядра (реакции деления и синтеза).

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Период полураспада и его определение. Активность радиоактивных препаратов. Радиоуглеродный анализ.

Альфа-распад ядер. Бета-распад ядер. Гамма-излучение ядер. Взаимодействие альфа-, бета-, рентгеновского и гамма-излучения с веществом. Первичный механизм действия ионизирующего излучения на организм. Ионизирующая и проникающая способности. Ядерные реакции. Цепная реакция деления ядер. Ядерные реакторы. Мирное использование ядерной энергии. Применение радиоактивных изотопов для диагностики и лечения. Меченые атомы. Термоядерные реакции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабовский Р.И. Курс физики / Р.И. Грабовский. - СПб.: Лань, 2002. - 607 с.
2. Практикум по курсу общей физики. Механика и молекулярная физика. Часть 1. Специальность -фармация / сост. С.Д. Миловидова и др. - Воронеж: ВГУ, 2004. – 32 с.
3. Практикум по курсу общей физики. Электричество и магнетизм. Часть 2 Специальность -фармация / сост. С.Д. Миловидова и др. - Воронеж: ВГУ, 2004. – 36 с.
4. Практикум по курсу общей физики. Оптика. Часть 3 Специальность - фармация / сост. С.Д. Миловидова и др. - Воронеж: ВГУ, 2004. - 36 с.
5. Практикум по курсу общей физики. для специальности -фармация. Учебное пособие для вузов / сост. С.Д. Миловидова и др. - Воронеж: ВГУ, 2006. - 80 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

1. Выполнять контрольную работу нужно только после изучения всех разделов физики: 1. Физические основы механики, включая «Колебания и волны». 2. Молекулярная физика и термодинамика. 3. Электричество и магнетизм. 4. Оптика. Элементы атомной и ядерной физики

2. При рассмотрении различных разделов физики встречается множество физических величин – длина, время, сила, импульс и т.д. Эти понятия имеют не только численные значения, они обладают размерностями, а кроме того, единицей, в которой физическая величина имеет данное значение. Нет никакого смысла в утверждении, что самые большие растения – гигантские секвойи имеют высоту равную 100. Весьма существенно, что эта высота – 100 метров. Мельчайшие клетки имеют размеры приблизительно 10^{-6} м (а не просто 10^{-6}). Т.е. максимальные отношения размеров живых объектов составляют 10^8 или 100 млн.

3. Приступая к решению задач, необходимо:

- а) полностью написать условие задачи в тетради;
- б) выписать заданные величины в буквенных выражениях с их численными

значениями и размерностями, а искомые величины – с вопросительными знаками; при решении задач пользоваться системой СИ;

- в) если это необходимо по условию задачи, сделать чертеж (с помощью чертежных принадлежностей), на нем указать направление заданных и искомых величин, сами эти величины обозначить буквами.

4. Решения задач сопровождать объяснениями.

5. Все физические величины выражаются в своих единицах и в уравнениях, связывающих физические величины, как числа, так и их единицы в обеих частях уравнений должны быть одинаковыми.

6. Простые задачи лучше решать в общем виде и только в конечных выражениях производить вычисления. Если задача требует громоздких вычислений, то можно производить их не в конечных, а в промежуточных формулах.

7. В конечных формулах обязательно указывать размерность величин, полученных в результате вычислений.

8. Обязательно выписать ответ задачи.

Порядок выполнения и оформления работ

1. На обложке тетради нужно указать номер контрольной работы, номер зачетной книжки, вариант, факультет, курс, фамилию и инициалы студента.

2. Условия задач нужно переписывать полностью, а решения их излагать по правилам, приведенным выше.

3. Текст контрольной работы должен быть написан грамотно, разборчиво и аккуратно.

Небрежно оформленные работы будут возвращены без проверки.

4. Писать контрольную работу нужно с оставлением полей (3 ÷ 4 см) для замечаний рецензента.

5. В конце контрольной работы должен быть указан перечень литературы, использованной при выполнении работы.

6. Закончив работу, нужно внимательно прочитать ее, исправить ошибки, подписаться и поставить дату.

7. Если при выполнении контрольной работы в процессе решения задач и связанного с этим изучением теоретического материала встречаются отдельные затруднения, которые самостоятельно преодолеть не удастся, нужно прийти на консультацию к преподавателю, читающему курс физики на факультете

или (для иногородних) послать по почте запрос в университет для получения необходимых указаний.

Умение решать задачи приобретается систематическими упражнениями. Чтобы научиться решать задачи и подготовиться к выполнению контрольных работ, нужно после изучения очередного раздела учебника внимательно разобрать помещенные в этом указании примеры решения типовых задач, решить задачи, предлагаемые для самостоятельного решения, и после этого приступить к выполнению контрольной работы.

На зачете по теоретическому материалу студент должен уметь объяснить решение любой задачи контрольной работы по указанию преподавателя.

НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН
МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ СИ

Единицы всех механических величин можно выразить через три основные – единицы длины, массы и времени (таблица 1).

Таблица 1

Наименование	Название единицы	Обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	кельвин	К
Количество вещества	моль	моль
Сила света	кандела	Кд
Дополнительные единицы системы СИ		
Плоский угол	радиан	Рад
Телесный угол	стерадиан	Ср

Когда вводятся такие величины, как сила или энергия, для удобства единицам даются специальные названия (ньютон или джоуль), но они определены как комбинации единиц длины, массы и времени. Эти три единицы

- метр,
- килограмм,
- секунда

– все, что нам необходимо, так как любая механическая величина может быть выражена через эти единицы (таблица 2).

Основная единица длины – метр. Стандарт длины – это длина волны желтой линии в спектре излучения изотопа криптона.

Основной единицей времени служит секунда. Период колебания атомов цезия принят за стандарт времени.

Основная единица массы – килограмм. Пока еще нет высокоточного стандарта массы в атомных терминах, поэтому используемый эталон – это определенный брус металла, находящийся в международном хранилище стандартов

Таблица 2

Наименование	Название единицы	Сокращенное обозначение	Выражение через основные и дополнительные единицы
Сила	Ньютон	Н	$\text{Н}=\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$
Давление	Паскаль	Па	$\text{Па}=\text{Н}/\text{м}^2=\text{м}^{-1}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	Джоуль	Дж	$\text{Дж}=\text{Н}\cdot\text{м}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Мощность	ватт	Вт	$\text{Вт}=\text{Дж}/\text{с}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}$
Момент силы	Ньютон-метр	Н·м	$\text{Н}\cdot\text{м}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Импульс (количество движения)	Килограмм-метр в секунду		$\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$
Импульс силы	Ньютон-секунда		$\text{Н}\cdot\text{с}=\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$
Частота	Герц	Гц	$\text{Гц}=\text{с}^{-1}$
Теплоемкость	Джоуль на кельвин	Дж/К	$\text{Дж}/\text{К}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$
Количество электричества (электрический заряд)	Кулон	Кл	А·с
Электрическое напряжение, потенциал, разность потенциалов, электродвижущая сила	Вольт	В	$\text{В}=\text{м}^2\cdot\text{кг}^2\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	Фарада	Ф	$\text{Ф}=\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^2\cdot\text{А}^2$
Электрическое сопротивление	Ом	Ом	$\text{Ом}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{А}^{-2}$
Поток магнитной индукции, магнитный поток	Вебер	Вб	$\text{Вб}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	Тесла	Тл	$\text{Тл}=\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Индуктивность, взаимная индукция	Генри	Гн	$\text{Гн}=\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-2}$
Плотность электрического тока	ампер на квадратный метр	А/м ²	А·м ⁻²
Напряженность магнитного поля	Ампер на метр	А/м	А·м ⁻¹
Световой поток	люмен	лм	Кд·ср
Освещенность	люкс	Лк	м ⁻² ·кд·ср

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$ м/с
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м ² /кг ²
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,314 Дж/(моль·К)
Заряд электрона	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² град. ⁴)
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Радиус первой Боровской орбиты	r_1	$5,29 \cdot 10^{-11}$ м.

Некоторые употребляемые величины и их значения в СИ

Ангстрем Å $1 \text{ Å} = 10^{-10}$ м

Электронвольт эВ $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж

ПРИСТАВКИ К ОБОЗНАЧЕНИЯМ ЕДИНИЦ

Приставка	Обозначение	Множитель
Мега	М	10^6
Кило	к	10^3
Деци	д	10^{-1}
Санта	с	10^{-2}
Милли	м	10^{-3}
Микро	мк	10^{-6}
Пико	п	10^{-12}

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Точка вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой $\varphi = A+Bt-Ct^2$, где φ - угол поворота, t – время вращения, $A = 10$, $B = 20 \text{ с}^{-1}$, $C = 2 \text{ с}^{-2}$. Найти величину и направление полного ускорения точки, находящейся на расстоянии 0,1 м от оси вращения для момента времени $t = 4$ с.

Дано:

$$\varphi = A+Bt-Ct^2,$$

$$A = 10,$$

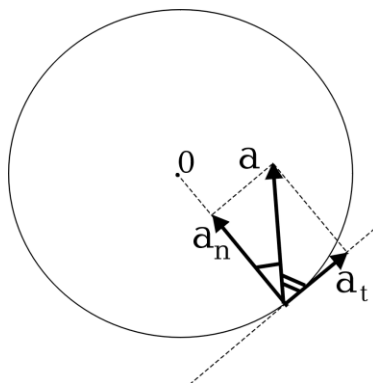
$$B = 20 \text{ с}^{-1},$$

$$C = 2 \text{ с}^{-2},$$

$$t = 4 \text{ с},$$

$$r = 0,1 \text{ м}.$$

$$a = ?, \alpha = ?, \gamma = ?$$



Решение Полное ускорение точки, движущейся по кривой линии, является векторной суммой тангенциального a_t и нормального a_n ускорений: $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$. Тангенциальное ускорение направлено по касательной к траектории движения, нормальное направление к центру кривизны траектории. Согласно рис.1:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}, \quad (1)$$

a_t и a_n связаны с угловой скоростью и ускорением следующими соотношениями:

$$a_t = \beta \cdot r \quad (2)$$

$$a_n = \omega^2 \cdot r, \quad (3)$$

где β - угловое ускорение вращающейся точки, ω - угловая скорость вращающейся точки, r - расстояние точки от оси вращения. Определим ω и β .

Угловая скорость ω равна первой производной от угла поворота по времени

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d(A + Bt - Ct^2)}{dt} = B - 2 \cdot C \cdot t \quad (4)$$

В момент времени $t = 4$ с угловая скорость

$$\omega = 20 \text{ с}^{-1} - 2 \cdot 2 \text{ с}^{-2} \cdot 4 \text{ с} = 4 \text{ с}^{-1}.$$

Угловое ускорение вращающегося тела равно первой производной от угловой скорости ω по времени:

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d(B - 2Ct)}{dt} = -2C \quad (5)$$

$$\beta = -2 \cdot 2 \text{ с}^{-2} = -4 \text{ с}^{-2}.$$

Вычислим теперь по формулам (2) и (3) a_t и a_n :

$$a_t = -4 \cdot 0,1 = -0,4 \text{ м/с}^2; a_n = 4^2 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Подставив выражения для a_t и a_n в формулу (1), определяющую модуль полного ускорения и воспользовавшись формулами (2) и (3), получим:

$$a = r\sqrt{\beta^2 + \omega^4}, \quad (6)$$

$$a = 0,1\sqrt{(-4)^2 + 4^4} \text{ м/с}^2 = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

Направление полного ускорения определим, если найдем углы, которые вектор ускорения образует с касательной к траектории или нормалью к ней (см. рис.1):

$$\cos \alpha = \frac{a_t}{a}, \quad \cos \gamma = \frac{a_n}{a}$$

$$\cos \alpha = 0,4 / 1,65 = 0,242, \quad \cos \gamma = 1,6 / 1,65 = 0,97.$$

По тригонометрическим таблицам находим $\alpha = 76^\circ$, $\gamma = 14^\circ$.

$$\text{Ответ: } a = 1,65 \text{ м/с}^2; \alpha = 76^\circ; \gamma = 14^\circ.$$

Задача 2. Диск радиусом $R = 1,5$ м и массой $m_1 = 180$ кг вращается по инерции вокруг вертикальной оси, делая $n = 10$ об/мин. В центре диска стоит человек массой $m_2 = 60$ кг. Какую линейную скорость относительно пола будет иметь человек, если он перейдет на край диска?

Решение. Для системы человек-диск будет выполняться закон сохранения импульса:

$$(I_1 + I_2) \cdot \omega = (I_1 + I'_2) \cdot \omega', \quad (1)$$

где I_1 - момент инерции диска, I_2 - момент инерции человека, стоящего в центре диска, ω - угловая скорость диска с человеком, стоящим в ее центре, I'_2 - момент инерции человека, стоящего на краю диска, ω' - угловая скорость диска с человеком, стоящим на краю.

Величина линейной скорости человека, стоящего на краю диска, связана с угловой скоростью ω соотношением $V = \omega' \cdot R$.

Используя (1), получим выражение для величины линейной скорости

$$V = (I_1 + I_2) \cdot \omega \cdot R / (I_1 + I'_2). \quad (2)$$

Момент инерции диска определим по формуле $I_1 = (1/2)m_1R^2$, момент инерции человека рассчитаем по формуле, определяющей момент инерции материальной точки массы m_2 . Поэтому для момента инерции человека, находящегося в центре диска, $I_2 = 0$, а для момента инерции человека на краю диска - $I'_2 = m_2 R^2$.

Угловая скорость диска до перехода человека $\omega = 2\pi n$. Заменяя в формуле (2) величины I_1 , I_2 , I'_2 и ω их выражениями, получим

$$V = \frac{\frac{1}{2}m_1R^2}{\frac{1}{2}m_1R^2 + m_2R^2} \cdot 2\pi nR \quad \text{или} \quad V = \frac{m_1}{m_1 + 2m_2} \cdot 2\pi nR$$

Подставляя численные значения, получим:

$$V = \frac{180}{180 + 2 \cdot 60} \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1,18 \text{ м/с.}$$

Задача 3. Сколько молекул содержится в 1 м^3 воды? Какова масса молекулы воды? Считая, что молекулы имеют вид шариков, соприкасающихся друг с другом, найти диаметр молекулы.

Решение. Известно, что число молекул в одном моле любого вещества (твердого, жидкого или газообразного) определяется числом Авогадро N_A .

Следовательно, число молей n , содержащихся в массе m , определится соотношением $n = (m/\mu)N_A$, где μ - масса одного моля. Так как $m = \rho \cdot V$, где ρ - плотность воды и V - объем, занимаемый водой, то $n = (\rho \cdot V/\mu) N_A$.

Подставив в формулу числовые значения

$$\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3, V = 1 \text{ м}^3, N_A = 6,022 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}, \mu = 18 \text{ кг/кмоль},$$

получим:

$$n = (10^3/18) \cdot 6,022 \cdot 10^{26} = 3,34 \cdot 10^{28} \text{ (молекул)}.$$

Масса одной молекулы $m_1 = \mu / N_A$:

$$m_1 = 18 \text{ кг/кмоль} : 6,022 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

Если молекулы воды полностью прилегают друг к другу, то можно считать, что на каждую молекулу приходится объем $V_1 = d^3$, где d - диаметр молекулы. Отсюда $d = \sqrt[3]{V_1}$.

Для определения объема V_1 , разделим молярный объем V_0 на число молекул в моле

$$V_1 = V_0/N_A, \text{ тогда } d = \sqrt[3]{V_0/N_A}.$$

Входящий в эту формулу молярный объем $V_0 = \mu / \rho$,

тогда искомый диаметр молекулы:

$$d = \sqrt[3]{\mu/(\rho \cdot N_A)},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{18 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}}{10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 6,022 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{кмоль}}}} = 3,11 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Задача 4. Баллон содержит $m_1 = 0,08$ кг кислорода и $m_2 = 0,3$ кг аргона. Давление смеси $P = 1,01$ МПа, температура $T = 288$ К. Считая газы идеальными, определить объем баллона. (Масса одного моля кислорода $\mu_1 = 32$ кг/кмоль, аргона $\mu_2 = 40$ кг/кмоль.)

Решение. По закону Дальтона давление смеси равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси. Парциальным давлением газа

называется давление, которое производил бы этот газ, если бы только он находился в рассматриваемом сосуде.

По уравнению Менделеева-Клайперона парциальные давления P_1 и P_2 кислорода и аргона равны

$$P_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot \frac{RT}{V}, \quad , \quad P_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \cdot \frac{RT}{V}.$$

В результате суммарное давление P выразится

$$P = P_1 + P_2 = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right),$$

откуда
$$V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \cdot \frac{RT}{P},$$

$$V = \left(\frac{0,08}{32} + \frac{0,3}{40} \right) \cdot \frac{8,31 \cdot 10^3 \cdot 288}{1,01 \cdot 10^6} \frac{\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \frac{\text{м}^2}{\text{Н}}}{\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}} \approx 0,0237 \text{ м}^3.$$

Задача 5. Найти среднюю кинетическую энергию поступательного движения и полную среднюю кинетическую энергию молекул гелия и азота при температуре $T = 300 \text{ К}$, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в $m = 0,004 \text{ кг}$ азота.

Решение. На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая энергия, выражаемая формулой

$$W = \frac{1}{2} kT,$$

где k - постоянная Больцмана, T – абсолютная температура газа.

Полная средняя энергия молекул зависит не только от температуры, но и от структуры молекулы– от числа степеней свободы.

Гелий – одноатомный газ, число степеней свободы с учетом только поступательного движения $i = 3$, поэтому полная средняя энергия молекулы гелия равна энергии его поступательного движения, т.е.

$$W = \frac{i}{2} kT = \frac{3}{2} kT,$$

$$W_{\text{He}} = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К} \cdot 300 \text{ К} = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Азот – двухатомный газ, для него $i = 5$, тогда

$$W_N = (5/2) \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К} = 10,35 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Т.к. полное число степеней свободы двухатомной молекулы азота $i = 5$, а на долю поступательного движения приходится $i = 3$, то на долю вращательного движения двухатомной молекулы приходится две степени свободы. Тогда энергия вращательного движения одной молекулы азота определится формулой

$$W_{\text{вращ.}} = (2/2)kT; W_{\text{вращ.}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К} = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех n молекул азота

$$W_{\text{вращ.}} = n \cdot$$

$$W_{\text{вращ.}}, \text{ где } n = (m/\mu) \cdot N_A \text{ (см. решение задачи 6).}$$

$$W_{\text{вращ.}} = (m/\mu) \cdot N_A \cdot W_{\text{вращ.}}$$

Для азота $\mu = 28 \text{ кг/кмоль}$,

$$\begin{aligned} W_{\text{вращ.}} &= (0,004 \text{ кг}/28 \text{ кг/кмоль}) \cdot 6,022 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1} \cdot 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = \\ &= 3,56 \cdot 10^2 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Задача 6. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном объеме c_v и при постоянном давлении c_p неона и водорода, считая эти газы идеальным.

Решение. Удельные теплоемкости c_p и c_v идеальных газов выражаются

формулами

$$c_v = \frac{i R}{2 \mu}, \quad c_p = \frac{i + 2 R}{2 \mu},$$

i – число степеней свободы молекулы газа, μ – масса киломоля,

$$\mu_{\text{Ne}} = 20 \text{ кг/кмоль}, \quad \mu_{\text{H}_2} = 2 \text{ кг/кмоль}.$$

Неон – одноатомный газ, поэтому $i = 3$.

$$c_v = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{кмоль})}{2 \cdot 20 \text{ кг}/\text{кмоль}} = 6,23 \cdot 10^2 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{кг}),$$

$$c_p = \frac{3 + 2 \cdot 8,31 \cdot 10^3}{2 \cdot 20} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{кг}).$$

Для водорода (двухатомный газ) $i = 5$:

$$c_v = \frac{5}{2} \frac{8,31 \cdot 10^3}{2} = 1,04 \cdot 10^4 \text{ Дж / кгК},$$

$$c_p = \frac{5 + 2}{2} \frac{8,31 \cdot 10^3}{2} = 1,45 \cdot 10^4 \text{ Дж / кгК}.$$

Задача 7. Тепловая машина работает по обратному циклу Карно. Температура нагревателя 500 К. Определить к.п.д. цикла η и температуру T_2 тепловой машины, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 350 Дж.

Решение. К.п.д. тепловой машины равен отношению полезной работы к затраченной: $\eta = A/A_1 = A/Q$, A – работа, совершенная рабочим телом тепловой машины; Q – теплота, полученная от нагревателя

$$\eta = 350/1000 = 0,35 = 35\%.$$

Зная к.п.д. цикла, можно по формуле $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$ определить температуру T_2 холодильника (T_1 – температура нагревателя).

$$T_2 = T_1(1 - \eta),$$

$$T_2 = 500 \cdot (1 - 0,35) = 500 \cdot 0,65 = 325 \text{ К}.$$

Задача 8. Материальная точка с массой $m = 0,02$ кг совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом $T = 2$ с и начальной фазой, равной нулю. Полная энергия колеблющейся точки $W = 1 \cdot 10^{-3}$ Дж. Найти: а) амплитуду колебаний A , б) написать уравнение данных колебаний, в) найти наибольшее значение силы F_{\max} , действующей на точку.

Решение. Уравнение гармонических колебаний без начальной фазы имеет вид

$$x = A \sin \omega t, \tag{1}$$

откуда скорость колеблющейся точки равна:

$$v = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки

$$W_k = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} m(A\omega \cos\omega t)^2 = \frac{1}{2} mA^2 \omega^2 \cos^2\omega t$$

Полная энергия колеблющейся точки определится из уравнения

$$A = \frac{1}{2} mA^2 \omega^2,$$

отсюда амплитуда колебаний

$$A = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

Круговая (циклическая) частота связана с периодом колебаний T : $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

тогда

$$A = \frac{1}{\frac{2\pi}{T}} \sqrt{\frac{2W}{m}} = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

$$A = \frac{2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-2}}} = \frac{1}{3,14} \sqrt{\frac{1}{10^2}} = \frac{1}{10 \cdot 3,14} \approx 0,03 \text{ (м)}.$$

Найдем ω : $\omega = 2\pi/2 = \pi \text{ (с}^{-1}\text{)}$. Зная A и ω , согласно (1), уравнение колеблющейся точки будет:

$$x = 0,03 \sin \pi t.$$

F_{\max} определим из 2-ого закона Ньютона: $F_{\max} = m \cdot a_{\max}$,

$$a = \frac{dV}{dt} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t, \quad a_{\max} = A\omega^2, \quad F_{\max} = -mA\omega^2.$$

$$F_{\max} = -0,02 \cdot 0,03(\pi)^2 \text{ (кг}\cdot\text{м)/с}^2 = -5,9 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

Знак минус указывает на то, что направление силы противоположно направлению смещения.

Задача 9. Сплошная металлическая сфера радиусом $R=20$ см несет равномерно распределенный заряд с поверхностной плотностью $\sigma=10^{-9}$ Кл/м². Определить напряженность и потенциал электрического поля на поверхности сферы.

Решение. Условие статического распределения зарядов в проводнике требует, чтобы внутри сферы напряженность поля равнялась нулю. Из этого же

условия следует, что потенциал φ_1 в любой точке сферы одинаков и равен потенциалу φ_2 на поверхности сферы: $E_1=0$, $\varphi_1 = \varphi_2$. Заряженная сфера создает вокруг себя такое же поле, которое создавал бы точечный заряд (равный заряду, находящемуся на сфере), помещенный в центр сферы:

$$E = F/q_{\text{пробн.}} \quad (1)$$

Силу F определяем по закону Кулона:

$$F = (1/4 \pi \epsilon \epsilon_0) Q \cdot q_{\text{пробн.}} / r^2 \quad (2)$$

$r=R$, $Q= \sigma \cdot S$, где Q – заряд сферы, S - площадь сферы,

$$F = 4\pi R^2 \sigma \quad (3)$$

Подставляя формулу (3) в (2), получим

$$F = (1/4 \pi \epsilon \epsilon_0) \cdot 4\pi R^2 \sigma q_{\text{пр}} / r^2 = \sigma q_{\text{пр}} / \epsilon \epsilon_0, \text{ тогда}$$

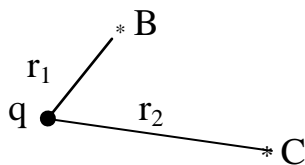
$$E = (\sigma q_{\text{пр}} / \epsilon \epsilon_0) / q_{\text{пр}} = \sigma / \epsilon \epsilon_0.$$

Т.к. $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, то потенциал, создаваемый точечным зарядом Q , определяется по формуле

$$\varphi = (1/4 \pi \epsilon \epsilon_0) \cdot 4\pi R^2 \sigma / R = R \sigma / \epsilon \epsilon_0, \text{ или}$$

$$\varphi = (0,2 \text{ м} \cdot 10^{-19} \text{ Кл/м}^2) / 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}^2 \cdot 1 \approx 22,6 \text{ В.}$$

Задача 10 Электрическое поле образовано зарядом $q_1 = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$, находящимся в среде с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Определить разность потенциалов φ точек B и C , удаленных от заряда на 5 см и 0,2 м. Какая работа совершается полем при перемещении заряда $q_2 = 0,3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ между точками B и C ?



Решение. Разность потенциалов точек B и C поля

$$\varphi_{bc} = U = \varphi_b - \varphi_c; \quad U = q_1 / (4\pi \epsilon \epsilon_0 r_1) - q_1 / (4\pi \epsilon \epsilon_0 r_2) = (q_1 / 4\pi \epsilon \epsilon_0) (1/r_1 - 1/r_2),$$

где ϵ_0 - электрическая постоянная: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. Работу по перемещению заряда в электрическом поле определим по формуле

$$A = q \cdot U.$$

Учтя, что $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В}$ по определению емкости проводников, получим

$$U = \frac{5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}}{4\pi \cdot 2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}} \left(\frac{1}{5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} - \frac{1}{0,2 \text{ м}} \right) \approx 3,4 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$A = 0,3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл} \cdot 3,4 \cdot 10^4 \text{ В} = 0,001 \text{ Дж.}$$

Задача 11. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,1$ Тл равномерно вращается рамка, содержащая $N=1000$ витков. Площадь рамки $S=150 \text{ см}^2$, рамка делает 10 об/с. Определить мгновенное значение э.д.с., соответствующее углу поворота рамки в 30° .

Решение. Мгновенное значение э.д.с. индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt},$$

Φ - магнитный поток через площадь витка (т.е. "связанный" с данным витком).

В катушке, содержащей N одинаковых витков (т.е. N одинаковых последовательно соединенных контуров), э.д.с. индукции, возбуждаемые в витках, суммируются, тогда

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot N,$$

т.е. можно сказать, что с этой катушкой "связан" магнитный поток в N раз больший, чем с одним витком.

$$\Phi = B S \cos\varphi = B S \cos\omega t.$$

Здесь S - площадь витка, (φ - угол между нормалью n к площади витка S и вектором B), ω - круговая (циклическая) частота. В итоге

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d}{dt} (B \cdot S \cdot \cos \omega t) \cdot N = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t,$$

т.к. $\omega = 2\pi\nu$ и $\omega t = 30^\circ = \pi/6$, получим

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = 2\pi\nu \cdot N \cdot B \cdot S \cdot \sin \omega t..$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{инд}} &= 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \text{ с}^{-1} \cdot 10^3 \cdot 0,1 \text{ Тл} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot \text{м}^2 \cdot \sin \pi/6 = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 = 47,1 \text{ В}.\end{aligned}$$

Задача 12. При изменении тока от 2,5 А до 14,5 А в соленоиде без сердечника, содержащем 800 витков, его магнитный поток увеличивается на $2,4 \cdot 10^{-3}$ Вб. Чему равна средняя э.д.с. самоиндукции, возникающая при этом в соленоиде, если изменение тока происходит за 0,15 с? Определить магнитную энергию соленоида при токе 5А.

Решение. Согласно закону Фарадея,

$$\mathcal{E}_{\text{самоинд}} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Поток напряжений магнитного поля через контур прямо пропорционален току в этом контуре: $\Phi \sim L$, или $\Phi = LJ$.

$$\mathcal{E}_{\text{самоинд}} = -L \frac{dJ}{dt},$$

где L – индуктивность, следовательно, $-\frac{d\Phi}{dt} N = -L \frac{dJ}{dt}$,

т.к. мы определяем среднюю, а не мгновенную э.д.с., то

$$N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L \frac{\Delta J}{\Delta t}, \quad N \cdot \Delta\Phi = L \cdot \Delta J, \quad \text{отсюда} \quad L = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta J},$$

$$L = \frac{800 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}}{(14,5 - 2,5) \text{ А}} = 0,16 \text{ Гн}, \quad \mathcal{E}_{\text{ср}} = -L \frac{\Delta J}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = -0,16 \frac{14,5 - 2,5}{0,15} = -13 \text{ В}$$

Знак минус показывает, что возникающая э.д.с. индукции препятствует нарастанию тока.

Э.д.с. индукции можно найти и из основной формулы для э.д.с. индукции:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{или} \quad \varepsilon_{\text{инд}} = -800 \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{0,15} = -13B$$

Магнитную энергию можно подсчитать из соотношения:

$$W = L \frac{J^2}{2}, \quad W = 0,16 \frac{25}{2} = 2 \text{ Дж}$$

Задача 13. Колебательный контур состоит из конденсатора с емкостью $C=48$ мкФ, катушки с индуктивностью $L=24$ мГн и активным сопротивлением $R=20$ Ом. Определить частоту свободных электромагнитных колебаний в этом контуре. На сколько изменится частота электромагнитных колебаний в контуре, если пренебречь активным сопротивлением катушки?

Решение. Период T электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из емкости C , индуктивности L и сопротивления R , определяется следующей формулой:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}. \quad (1)$$

Но $\nu = \frac{1}{T}$, следовательно, для 1-го случая $\nu_1 = \frac{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}{2\pi}$.

Если сопротивление R будет равно нулю, то формула (1) примет вид:

$$T_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC}}} = 2\pi\sqrt{LC}, \quad \text{а частота } \nu_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad \Delta\nu = \nu_2 - \nu_1.$$

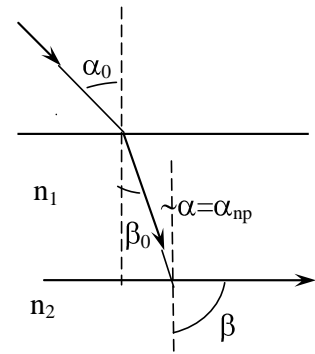
$$\nu_1 = \frac{\sqrt{\frac{1}{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 4,8 \cdot 10^{-5}} - \frac{20}{2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-2}}}}{2 \cdot 3,14} = 132 \text{ Гц},$$

$$\nu_2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 4,8 \cdot 10^{-5}}} = 148 \text{ Гц},$$

$$\Delta\nu = 148 - 132 \text{ Гц}.$$

$$\Delta\nu = 16 \text{ Гц}$$

Задача 14. На стакан, наполненный водой, положена стеклянная пластинка. Под каким углом должен падать на пластинку луч света, чтобы от поверхности раздела воды со стеклом произошло полное внутреннее отражение (рис.). Показатели преломления стекла – $n_1 = 1,6$, воды – $n_2 = 1,33$.



Решение. Если луч падает на границу раздела оптически более плотной и оптически менее плотной сред под углом $\alpha = \alpha_{np}$, преломленный луч скользит по границе раздела сред, т.е. угол преломления $\beta = 90^\circ$.

В таком случае согласно закону преломления

$$\frac{\sin \alpha_{np}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_2 – показатель преломления воды.

$$\sin \alpha_{np} = \frac{n_2}{n_1} = 0,8312;$$

$$\alpha_{np} = 56^\circ 13'.$$

Для границы раздела воздух-стекло закон преломления записывается в виде

$$\frac{\sin \alpha_o}{\sin \beta_o} = n_1.$$

Из рисунка следует, что $\beta_o = \alpha_{np}$, т.е. $\sin \alpha_o = n_1 \sin \beta_o = 1,33$.

Таким образом, для полного внутреннего отражения на границе стекло – вода луч должен падать на стеклянную пластинку под углом, синус которого равен 1,33, что невозможно.

Задача 15. Кольца Ньютона наблюдаются при отражении света от соприкасающихся друг с другом плоскопараллельной толстой стеклянной пластинки и плоско-выпуклой линзой с большим радиусом кривизны. Роль тонкой пленки, от которой отражаются когерентные волны, играет воздушный зазор между пластинкой и линзой. Расстояние между светлыми

кольцами Ньютона с номерами m и n равно ℓ . Радиус кривизны линзы – R .
Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдения проводятся в отраженном свете.

Решение:. Найдем радиусы колец Ньютона, получающихся при падении света по нормали к пластинке. В этом случае угол падения $\alpha = 0$, $\cos\beta = 1$ и оптическая разность хода равна удвоенной толщине зазора (показатель преломления воздуха $n = 1$) плюс $\lambda/2$ вследствие того, что отражение происходит от более оптически плотной среды (от пластинки). Из рисунка следует, что

$$R^2 = (R-b)^2 + r^2 \approx R-2Rb+r^2,$$

где R – радиус кривизны линзы; r – радиус кольца Ньютона (ввиду малости величины воздушного зазора b мы пренебрегаем величиной b^2 по сравнению с $2Rb$).

Из вышеприведенного выражения находим $b = r^2/2R$. Таким образом,

$$\Delta = 2b + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}.$$

В точках, для которых $\Delta = k\lambda$, возникнут максимумы, а в точках, для которых $\Delta = (2k+1)\lambda/2$, – минимумы интенсивности. Следовательно, радиусы светлых колец Ньютона будут определяться формулой

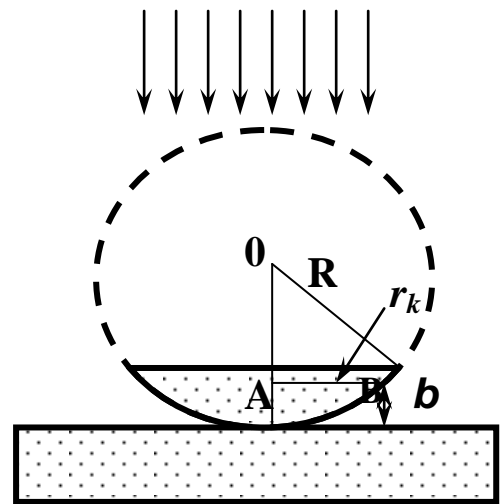
$$r_k^c = \sqrt{(k-1)R\frac{\lambda}{2}} \quad (k=1,2,\dots),$$

радиусы темных колец – формулой

$$r_k^T = \sqrt{kR\lambda} \quad (k=1,2,\dots).$$

Расстояние между светлыми кольцами с номерами m и n :

$$\ell = r_m^c - r_n^c = \sqrt{(m-1)R\frac{\lambda}{2}} - \sqrt{(n-1)R\frac{\lambda}{2}}.$$



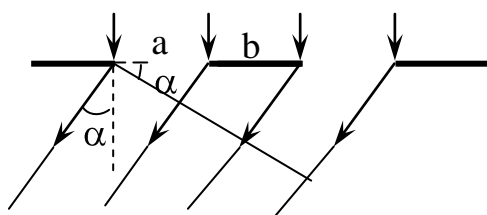
Путем несложных преобразований получим формулу

$$\ell^2 = R\lambda \left[n + n - 1 - \sqrt{(m-1)(n-1)} \right]$$

откуда

$$\lambda = \frac{\ell^2}{R \left[n + n - 1 - \sqrt{(m-1)(n-1)} \right]}$$

Задача 16. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если для того чтобы увидеть красную линию ($\lambda = 0,7$ мкм) в спектре третьего порядка,



зрительную трубу пришлось установить под углом $\alpha = 48^\circ 36'$ к оси коллиматора? Какое число штрихов нанесено на 1 см длины этой решетки? Свет падает на

решетку нормально.

Решение. Условием получения дифракционного максимума является: $d \cdot \sin \alpha = k\lambda$, где $d = a + b$ – постоянная дифракционной решетки; a – ширина щели; b – расстояние между щелями; α – угол отклонения лучей; k – порядок спектра; λ – длина волны. Отсюда

$$d = \frac{k\lambda}{\sin \alpha} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ см.}$$

Число штрихов на 1 см решетки

$$n = \frac{1}{d} = 3570.$$

Задача 17. Красная граница фотоэффекта для цезия $\lambda_o = 6530 \text{ \AA}$. Определить скорость фотоэлектронов при облучении цезия фиолетовыми лучами с длиной волны $\lambda = 4000 \text{ \AA}$.

Решение. Скорость фотоэлектронов найдем из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + T, \tag{1}$$

где ε – энергия фотона, A – работа выхода, T кинетическая энергия фотоэлектрона.

Выразив энергию фотона через длину волны, получим

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}. \quad (2)$$

Работы выхода A равна энергии фотона с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта:

$$A = \frac{hc}{\lambda_0}. \quad (3)$$

Так как энергия фотонов видимой части спектра очень мала по сравнению с энергией покоя электрона, то кинетическую энергию электрона можно

выразить формулой классической механики $T = \frac{m_0 v^2}{2}$. (4)

Заменив в формуле (1) величины ε , A и T по формулам (2), (3) и (4), получим

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_0} + \frac{m_0 v^2}{2},$$

Откуда
$$v = \sqrt{\frac{2hc \left(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda} \right)}{m_0 \lambda_0 \lambda}}. \quad (5)$$

Подставив числовые значения величин в (5):

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot (6,63 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7})}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 6,53 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{-7}}} \text{ м/сек} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/сек.}$$

Задача 18. Пользуясь теорией Бора, определить радиус атома водорода, когда электрон находится на ближайшей к ядру орбите, и скорость движения электрона на этой орбите.

Решение. r_1 – радиус ближайшей к ядру орбиты (в соответствии с условием – радиус атома водорода). Ядро атома водорода (протон) и вращающийся вокруг него электрон взаимодействуют по закону Кулона с силой

$$F_{\text{эл}} = e^2 / \pi \varepsilon_0 r^2,$$

где e – элементарный электрический заряд. Эта сила является центростремительной силой, заставляющей электрон массой m вращаться по орбите радиусом r_1 , т.е.

$$e^2/4\pi\epsilon_0(r_1)^2 = m(v_1)^2/r_1 \quad (1)$$

Здесь два неизвестных: r_1 и v_1 , где v_1 – скорость движения электрона на 1-ой орбите.

Для решения задачи нужно еще одно уравнение с этими же неизвестными. Его дает один из постулатов Бора. Согласно этому постулату, электрон может двигаться только по таким орбитам, для которых момент количества движения электронов $m_e \cdot v \cdot r_n$ является целым кратным числом $h/2\pi$ (квантование орбит по Бору), т.е.

$$m \cdot v \cdot r_n = n \cdot h/2\pi,$$

где n – целое число ($n = 1, 2, 3, \dots$). Для ближайшей к ядру орбиты электрона $n = 1$. Следовательно,

$$mv_1r_1 = h/2\pi,$$

откуда $v_1 = h/2\pi mr_1$.

Тогда (1) переписывается

$$E^2/4\pi\epsilon_0r^2 = (m/r_1) (h/2\pi mr^2)^2$$

или

$$r_1 = h^2\epsilon_0/\pi me^2.$$

Подставляя в формулу численные значения заряда электрона, массу электрона и постоянной Планка, получим для r_1 :

$$r_1 = \frac{6,62^2 \cdot 10^{-68} \text{ Дж}^2 \cdot c^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38} \text{ кг}} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м},$$

$$v_1 = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c}{6,28 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Точка движется по окружности радиуса 8 м. Закон ее движения выражается уравнением $s=a+bt^2$, где $a=20$ м, $b=2$ м·с⁻². Найти, в какой момент времени нормальное ускорение точки a_n будет равно 3 м·с⁻².

(Ответ: 1,21 с)

2. С какой средней силой F давит при стрельбе ручной пулемет, если масса пули $m=0,01$ кг, ее скорость при вылете $v=800$ м/с и скорострельность пулемета $n=600$ вылетов в минуту?

(Ответ: 80 Н)

3. Стальной шарик, упавший с высоты 1 м на стальную доску, отскакивает от нее со скоростью $V_2=0,75V_1$, где V_1 – скорость, с которой он подлетел к доске. 1) На какую высоту он поднимется? 2) Сколько времени пройдет от начала движения шарика до вторичного его падения на доску?

(Ответ: $h=0,84$ м, $t=1,4$ с)

4. На скамье Жуковского сидит человек и держит на вытянутых руках гири по 10 кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси вращения скамьи $l_1=0,75$ м. Скамья вращается, делая $n=1$ об/с.

Как изменится скорость вращения скамьи и какую работу произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $l_2=0,2$ м? Суммарный момент инерции человека и скамьи относительно оси вращения $I_0=2,5$ кг·м².

(Ответ: $\omega=4,2$ об/с, $A=870$ Дж)

5. Какое количество молекул находится в комнате объемом 80 м³ при температуре 17 °С и давлении 750 мм рт. ст.?

(Ответ: $2 \cdot 10^{27}$)

6. Найти среднюю длину свободного пробега атомов гелия в условиях, когда плотность гелия $\rho=2,1 \cdot 10^{-2}$ кг/м³.

(Ответ: $1,8 \cdot 10^{-6}$ м)

7. Рассчитать полную энергию всех молекул кислорода, занимающего при

давлении $P=0,2$ МПа, объем $V=30$ л.

(Ответ: $1,5 \cdot 10^4$ Дж)

8. 160 г кислорода нагреваются от 50 до 60°C . Найти количество поглощенной теплоты и изменение внутренней энергии в случаях, если 1) процесс происходит при постоянном объеме, 2) при постоянном давлении.

(Ответ: 1) $Q_1=U_1=1040$ Дж, 2) $U_2=1040$ Дж, $Q_2=1400$ Дж)

9. Работа изотермического расширения 10 г некоторого газа от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$ равна 575 Дж. Найти среднюю квадратичную скорость молекул газа при этой температуре.

(Ответ: 500 м/с).

10. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в три раза выше, чем температура охладителя. Нагреватель передал газу $Q_1=10$ ккал теплоты. Какую работу совершил газ?

(Ответ: $2,81 \cdot 10^4$ Дж).

11. Заряды по 0,1 мкКл расположены на расстоянии 6 см друг от друга. Найти напряженность и потенциал в точке, удаленной на 5 см от каждого из зарядов. Оба заряда считать положительными. (Ответ: 576 кВ/м, 36 кВ)

12. Два шарика массой $m=1$ г каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити $\ell=10$ см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол $\alpha=60^\circ$? (Ответ: 79 нКл)

13. Длинная прямая тонкая проволока несет равномерно распределенный заряд. Вычислить линейную плотность τ заряда, если напряженность поля на расстоянии $r=0,5$ м от проволоки против ее середины $E=2$ В/см. (Ответ: 5,55 нКл/м)

14. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы получить скорость $v=8$ мм/с? (Ответ: 182 В)

15. Для изучения структуры и функции биологических мембран используют модели – искусственные фосфолипидные мембраны, состоящие из

бимолекулярного слоя фосфолипидов. Толщина искусственной мембраны достигает около $\ell=6$ нм. Найдите емкость 1 см^2 такой мембраны, считая ее относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r=3$. Сравните полученную емкость с аналогичной характеристикой конденсатора, расстояние между пластинами которого $\ell=1$ мм. (Ответ: $C_{\text{мембраны}}=0,44 \text{ мкФ/см}^2$, $C_{\text{конденсатора}}=2,7 \text{ пФ/см}^2$)

16 Вычислите емкость тела человека, считая ее равной емкости электропроводящего шара того же объема. Среднюю плотность тела принять равной $\rho=1 \text{ г/см}^3$, масса человека $m=60$ кг. (Ответ: 9 пФ)

17 В проводнике сопротивлением 2 Ом, подключенном к элементу с э.д.с. 1,1 В, идет ток 0,5 А. Какова сила тока при коротком замыкании элемента?

На концах медного провода длиной $\ell=5$ м поддерживается напряжение $U=1$ В. Определить плотность тока δ в проводе. (Ответ: $1,18 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$)

18. Определить силу тока в цепи, состоящей из двух элементов с э.д.с. $\mathcal{E}_1=1,6$ В и $\mathcal{E}_2=1,2$ В с внутренним сопротивлением $r_1=0,6$ Ом и $r_2=0,4$ Ом, соединенных одноименными полюсами. (Ответ: 0,4 А)

19. Термопара из Рb-Аg создает термоэлектродвижущую силу 3 мкВ при разности температур спаев 1 К. Можно ли такой термопарой уверенно установить температуры тела человека от 36,5 до 37,0 $^{\circ}\text{C}$, если потенциометр позволяет измерить напряжение с точностью до 1 мкВ?

20. Самолет, имеющий размах крыльев $\ell=40$ м, летит горизонтально со скоростью $v=900$ км/ч. Определите разность потенциалов на концах крыльев, если вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли $H=40$ А/м. (Ответ: 0,5 В)

21. В проводнике с длиной активной части 8 см сила тока равна 50 А. Он находится в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл. Найти совершенную работу, если проводник переместился на 10 см перпендикулярно силовым линиям. (Ответ: 8 мДж)

22. По тонкому проводнику, изогнутому в виде правильного шестиугольника со стороной $a=10$ см, идет ток силой $I=20$ А. Определить магнитную индукцию в центре шестиугольника. (Ответ: 138 мкТ)

23. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01$ Т помещен прямой проводник длиной $\ell=20$ см (подводящие провода находятся вне поля). Определить силу F , действующую на проводник, если по нему течет ток силой $I=50$ А, а угол между направлением тока и вектором магнитной индукции $\varphi=30^\circ$. (Ответ: 50 мН)

24. Протон влетел в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и описал дугу радиусом $R=10$ см. Определить скорость протона, если магнитная индукция $B=1$ Т. (Ответ: $9,57 \cdot 10^6$ м/с)

25. По обмотке соленоида индуктивностью $L=0,2$ Г течет ток $I=10$ А. Определить энергию W магнитного поля соленоида. (Ответ: 10 Дж)

26. Какой величины э.д.с. самоиндукции возбуждается в обмотке электромагнита с индуктивностью $0,4$ Гн при равномерном изменении силы тока в ней на 5 А за $0,02$ с? (Ответ: 100 В)

27. Два конденсатора емкостью $C_1=0,4$ мкФ и $C_2=0,2$ мкФ включены последовательно в цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Найти силу тока в цепи и падение напряжения на каждом конденсаторе. (Ответ: $0,009$ А; $73,3$ В; $146,7$ В)

28. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости $C=2$ мкФ получить звуковую частоту $\nu=10^3$ Гц? Сопротивлением контура пренебречь. (Ответ: $0,05$ Г)

29. Показатели преломления воды – $n_1 = 1,33$, скипидара - $n_2 = 1,48$. Как должны относиться толщины слоев жидкостей, чтобы времена распространения в них луча были одинаковыми? Ответ: $\frac{d_1}{d_2} = 1,112$.

30. На дно сосуда, наполненного водой до высоты 10 см, помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка таким образом, что ее центр находится над источником света.

Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды? Ответ: 0,114 м.

31. На пути одного из интерферирующих лучей помещена тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое шестой светлой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки $n = 1,6$, длина волны $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-7}$ м. Какова толщина пластинки?

Ответ: $d = 6,6 \cdot 10^{-6}$ м.

32. Каково расстояние между 20-м и 21-м светлыми кольцами Ньютона, если расстояние между 2-м и 3-м – 1 мм, а наблюдение ведется в отраженном свете?

Ответ: 0,32 мм.

33. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ . Ширина щели равна 6λ . Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум света?

Ответ: $\varphi = 30^\circ$.

34. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки, чтобы в направлении $\varphi = 41^\circ$ совпадали максимумы двух линий: $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 4102 \text{ \AA}$?

Ответ: $d = 5 \cdot 10^{-6}$ м.

35. Пучок плоскополяризованного света, длина волны которого в пустоте равна 5890 \AA падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Найти длины волн обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле, если показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и для необыкновенного лучей равны соответственно $n_o = 1,66$ и $n_e = 1,49$.

Ответ: $\lambda_o = 3,55 \cdot 10^{-7}$ м, $\lambda_e = 3,95 \cdot 10^{-7}$ м.

36. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен α . Как

поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8 % падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9 % интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол α .
Ответ: $62^{\circ}32'$.

37. Какое количество энергии излучает один квадратный сантиметр затвердевающего свинца в 1 сек? Отношение энергетических светимостей поверхности свинца и абсолютно черного тела для этой температуры считать равным 0,6.

Ответ: $w = 0,46$ Дж.

38. Абсолютно черное тело находится при температуре $T_1 = 2900^{\circ}$ К. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 9$ мкм. До какой температуры T_2 охладилось тело?

Ответ: $T_2 = 290^{\circ}$ К.

39. Принадлежит ли к составу видимого света изучение, кванты которого обладают энергией $6 \cdot 10^{-19}$ Дж?
Ответ: нет.

Какая длина волны соответствует фотону, масса которого 0,001 а.е.м.?

Ответ: $1,33 \cdot 10^{-12}$ м.

40. Калий (работа выхода 2,00 эВ) освещается монохроматическим светом с длиной волны 509 нм (зеленая линия кадмия). Определить максимально возможную кинетическую. Энергию фотоэлектронов. Сравнить ее со средней энергией теплового движения электронов при температуре 17° С.

Ответ: $E_k = 0,44$ эВ, $\bar{E} = 0,0376$ эВ.

41. Цезий (работа выхода 1,88 эВ) освещается спектральной линией H_{β} водорода ($\lambda = 0,476$ мкм). Какую наименьшую задерживающую разность потенциалов нужно приложить, чтобы фототок прекратился?

Ответ: $U = 0,68$ В.

42. На какой орбите скорость электрона атома водорода равна 734 км/с?

Ответ: $k = 3$.

43. Наибольшая длина волны спектральной водородной линии серии Лаймана 121,6 нм. Вычислить наибольшую длину волны в серии Бальмера.

Ответ: $\lambda = 656,6$ нм.

44. Наименьшая длина волны сплошного спектра рентгеновских лучей, полученного в результате торможения электронов на антикатоде рентгеновской трубки, 0,5 нм. Какова наибольшая скорость электронов?

Ответ: $v = 2,95 \cdot 10^7$ м/с.

45. При каком наименьшем напряжении рентгеновская трубка может дать лучи с наименьшей длиной волны 13,3 пм?

Ответ: $U = 93$ кВ.

46. Вычислить массу ядра изотопа ${}^1_8\text{O}$.

Ответ: $m_{\text{я}} = 15,9005$ а.е.м.

47. Вычислить энергию реакции ${}^9_4\text{Be} + n \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$.

Ответ: $Q = 5,7$ МэВ.

Составители: *Милови́дова Светлана Дмитриевна*
Сидоркин Александр Степанович
Рогазинская Ольга Владимировна