

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Инженерный институт**

**Ф И З И К А**

**Методические указания по изучению дисциплины и задания  
для контрольной работы**

**Новосибирск 2021**

УДК: 53(075)  
ББК 22.171

Кафедра математики и физики

Составители: ст. преп. М.Г.Алешкевич; ст. преп. И.М.Дзю; канд. с-х. наук, доц. Л.А.Митина.

Физика: методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы/ Новосибирский государственный аграрный университет, Инженерный институт; составители: М.Г. Алешкевич, И.М. Дзю, Л.А. Митина. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. -71 с.

В методических указаниях приведена рабочая учебная программа дисциплины, даны краткие указания по ее изучению и решению задач, приведены основные формулы, примеры решения, задания для контрольной работы, а также справочные данные.

Предназначены для студентов агрономического и Биолого-технологического факультетов всех направлений подготовки и форм обучения.

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

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е.П.Матус ( НГАСУ (Сибстрин)

## **Введение**

Одной из фундаментальных наук, изучающих наиболее общие формы движения и взаимодействия материи (вещества и поля), является физика. Ее фундаментальные закономерности имеют большое значение не только для самой физики, но и являются теоретической базой для всех естественных и инженерных наук. Физика оказывает большое влияние на развитие производства, как через соответствующие науки, так и непосредственно. Теснейшим образом физика связана с сельским хозяйством. Процессы жизнедеятельности сельскохозяйственных растений в значительной степени определяются физическими условиями среды, в которых развиваются растения: световым, водным, тепловым и воздушным режимом. Задачи физики состоят в изучении этих условий и установлении наиболее благоприятного режима для роста сельскохозяйственных культур. Поэтому современный агроном должен хорошо знать основы физики и уметь творчески применять полученные физические знания в своей практической деятельности.

Изучение физики студентами осуществляется в два этапа:

1. Самостоятельное изучение основ физики в соответствии с учебной программой и выполнение контрольной работы.
2. Выполнение лабораторных работ и их защита во время лабораторно-экзаменационной сессии, сдача экзамена.

Основная работа по изучению физики должна быть проделана до лабораторно-экзаменационной сессии. Только систематическая работа может позволить освоить основной материал своевременно, а на сессии устранить пробелы в знаниях и успешно сдать экзамен. Самостоятельная работа по учебнику и учебным пособиям должна сопровождаться составлением конспекта, в котором кратко должны быть записаны физические явления, формулировки законов, определения физических величин и единиц их измерения, решены типовые задачи.

Лекции во время сессии носят обзорный характер, в них излагаются наиболее трудные темы. Количество лекционных часов определяется согласно учебному плану. Лабораторно-практические занятия позволяют углубить и закрепить теоретические знания, ознакомить с наиболее распространенными методами измерений и использованием физических приборов. На экзамене студент должен показать твердые знания по физике, предусмотренные учебной программой и государственным образовательным стандартом. До экзамена допускаются студенты, защитившие контрольную работу, выполнившие и защитившие лабораторные работы.

## **Методические указания к выполнению контрольной работы**

Каждый студент до начала экзаменационной сессии должен выполнить в соответствии со своим вариантом контрольную работу, включающую 8 задач. Номер варианта определяется по двум последним цифрам шифра, а номера задач – по таблице вариантов. Они указаны в строке, соответствующей последней цифре шифра в одной из двух колонок в зависимости от того, четная или нечетная предпоследняя цифра в шифре. Так, например, если вариант 51 (предпоследняя цифра «5» – нечетная), то следует решать задачи первого столбика; если вариант 61 (предпоследняя цифра «6» – четная), то следует решать задачи второго столбика.

Работа, присланная на рецензию, должна быть выполнена в отдельной тетради, на обложке которой нужно указать фамилию, инициалы, полный шифр, дату отправки и адрес студента.

Условия задач должны быть переписаны полностью и каждую задачу следует начинать с новой страницы. Для замечаний рецензента следует оставлять поля. Работу нужно выполнять шариковой ручкой с пастой синего или черного цвета.

При решении задач необходимо придерживаться следующей последовательности:

- выписать данные величины в одну колонку, используя буквенные обозначения и необходимые индексы;
- перевести все заданные величины в систему СИ;
- вспомнить физические законы, на основании которых следует решать задачу, написать соответствующие формулы;
- в случае необходимости сделать схематичный чертеж, поясняющий содержание задачи (например, ход лучей в оптической системе);
- в большинстве случаев задачу следует решать в общем виде, т.е. в виде буквенных выражений без промежуточных вычислений;
- полученную формулу следует проверить на размерность. Если в результате получится неверная размерность, то это прямое указание на ошибки;
- подставляя в полученную формулу числовые значения, произвести вычисления, руководствуясь правилами вычислений и убедиться, что полученный ответ удовлетворяет условиям задачи. При решении можно пользоваться справочными данными, приведенными в конце методических указаний;
- в конце контрольной работы необходимо указать использованную литературу. Это позволяет рецензенту, в случае неверных решений, дать более конкретные советы по устранению замечаний;
- получив проверенную работу, студент обязан тщательно изучить ошибки и внести исправления. Повторно выполненная работа высылается на рецензию вместе с незачтенной работой. Возможно устранение недостатков и в незачтенной работе;

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

## **Рабочая программа дисциплины**

### *Введение.*

Предмет физики. Методы исследований. Обработка результатов физических измерений.

### *1. Физические основы механики.*

- 1.1. Виды механического движения. Кинематика материальной точки. Скорость, ускорение, траектория. Равнопеременное движение.
- 1.2. Динамика материальной точки. Законы Ньютона. Закон сохранения импульса и его использование в сельском хозяйстве. Виды энергий. Работа. Мощность. Силы в механике (упругости, трения, тяжести).
- 1.3. Вращательное движение твердого тела. Механика вращательного движения. Момент силы, момент инерции.
- 1.4. Гидродинамика. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли. Вязкость жидкости. Закон Стокса. Ламинарное и турбулентное течение. Измерение давления. Применение закона гидродинамики в агрономии.
- 1.5. Механические колебания и волны в упругих средах. Виды колебаний. Характеристики колебательных процессов. Математический, физический, пружинный маятники. Резонанс.

### *2. Молекулярная физика и термодинамика.*

- 2.1. Основы молекулярно-кинетической теории газов. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Давление. Барометрическая формула. Распределение молекул по скоростям.
- 2.2. Явление переноса в газах. Диффузия и теплопроводность в почве. Внутреннее трение. Реальные газы. Уравнение Ван - дер - Ваальса. Критическая температура. Испарение и конденсация. Кипение.
- 2.3. Физические основы термодинамики. Элементы термодинамики. Работа и теплота газа. Внутренняя энергия. Теплоемкость газа. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия.
- 2.4. Молекулярные явления в жидкостях. Жидкости и твердые тела. Особенности строения. Деформация твердого тела. Тепловое расширение твердых и жидких тел. Диффузия. Осмос. Поверхностное натяжение, капиллярные явления.

### *3. Электричество и магнетизм.*

- 3.1. Электростатика. Электрический заряд. Закон Кулона. Теорема Остроградского-Гаусса. Характеристики поля (напряженность и потенциал, силовые и эквипотенциальные линии).
- 3.2. Проводники в электрическом поле. Электростатическая защита. Электрическое поле в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость.
- 3.3. Постоянный ток. Ток в металлах. Закон Ома. Параллельное и последовательное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока.
- 3.4. Электрический ток в полупроводниках. Электрический ток в электролитах. Законы электролиза. Электрический ток в живых организмах.
- 3.5. Электромагнетизм. Закон Ампера. Индукция и напряженность магнитного поля. Сила Лоренца. Закон Био - Савара - Лапласа.
- 3.6. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Явление самоиндукции и взаимной индукции.
- 3.7. Переменный ток. Диод. Схемы выпрямления тока. Магнитные свойства вещества. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм. Действие магнитного поля на биологические объекты.
- 3.8. Электромагнитные колебания и волны. Колебательный контур. Шкала электромагнитных волн.

### *4. Оптика.*

- 4.1. Геометрическая оптика. Законы отражения и преломления. Полное отражение на границе двух сред и использование этого явления в оптических приборах.
- 4.2. Волновая оптика. Интерференция света. Интерференция в тонких пленках. Интерферометры. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционная решетка. Голография.
- 4.3. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Поляриметры и сахариметры.
- 4.4. Дисперсия света. Спектральный анализ. Закон Бугера. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Их применение.
- 4.5. Квантово - оптические явления. Квантовые свойства света. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело. Законы Кирхгофа и Стефана - Больцмана. Законы смещения Вина. Оптическая пирометрия.
- 4.6. Фотоэлектрический эффект. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Фотохимические реакции.

## 5. *Строение атома и атомного ядра.*

- 5.1. Строение атома. Постулаты Бора. Люминесценция. Люминесцентный анализ. Лазеры и их применение.
- 5.2. Волновые свойства частиц. Дифракция электронов. Электронный микроскоп. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
- 5.3. Строение атомного ядра. Ядерные силы. Дефект массы. Радиоактивный распад. Действие ионизирующих излучений на живой организм.

### **Рекомендуемая литература**

1. *Хавруняк, В.Г.* Курс физики : учебное пособие /В.Г.Хавруняк. – Москва: ИНФРА-М, 2019. -400 с.–(Высшее образование: Бакалавриат). — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1012431>.- Текст: электронный

2. *Канн К.Б.* Курс общей физики: Учебное пособие/К.Б.Канн. – Москва: ИНФРА-М, 2018. -360 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/956758> - Текст: электронный.

3. *Грабовский Р.И.* Курс физики: учебное пособие/ Р.И. Грабовский.– 12-е изд., стер.- Санкт-Петербург: Лань, 2012.– 608 с.

4. *Трофимова Т.И.* Курс физики: учебное пособие/ Т.И. Трофимова. – Москва: КноРус, 2017. – 272 с. – (Бакалавриат).

5. *В.М. Гладской , П.И. Самойленко.* Сборник задач по физике с решениями: пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – Москва: Дрофа, 2004. – 288 с.

## **Раздел 1. Физические основы механики**

Механика – часть физики, в которой рассматриваются закономерности движения и причины, вызывающие это движение. Данный материал является фундаментальным, т.к. понятия, закономерности, законы, содержащиеся в нем, применяются при изучении последующих разделов программы (законы Ньютона, закон сохранения энергии).

### **Основные формулы**

#### **1. Поступательное движение**

- Уравнения равномерного движения:

$$S = vt, \quad v = \text{const}, \quad a = 0.$$

- Уравнения равнопеременного движения:

$$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \quad v = v_0 \pm at, \quad a = \text{const}.$$

- Уравнения неравномерного движения:

$$S = f(t), \quad v = \frac{dS}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2},$$

где  $S$  – перемещение;  $v_0$  – начальная скорость;  $v$  – скорость в момент времени  $t$ ;  $a$  – ускорение.

#### **2. Вращательное движение**

- Уравнения равномерного вращения:

$$\varphi = \omega t, \quad \omega = \text{const}, \quad \varepsilon = 0.$$

- Уравнения равнопеременного вращения:

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t, \quad \varepsilon = \text{const}.$$

- Уравнения неравномерного вращения:

$$\varphi = f(t), \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

где  $\varphi$  – угловой путь, пройденный за время  $t$ ;  $\omega_0$  – начальная угловая скорость;  $\omega$  – угловая скорость в момент времени  $t$ ;  $\varepsilon$  – угловое ускорение.

- Связь между угловой скоростью  $\omega$ , периодом  $T$  и частотой вращения  $\nu$ :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

- Связь между линейными и угловыми кинематическими величинами:

$$S = \varphi R, \quad v = \omega R, \quad a_\tau = \varepsilon R,$$



$$a_{\text{н}} = w^2 R = \frac{v^2}{R},$$

где  $a_{\tau}$  – тангенциальное ускорение;  $a_{\text{н}}$  – нормальное ускорение;  $R$  – радиус окружности.

- Полное ускорение:

$$a = \sqrt{a_{\text{н}}^2 + a_{\tau}^2} = R\sqrt{w^4 + \varepsilon^2}.$$

### 3. Гармоническое колебательное движение. Волны

- Смещение колеблющейся точки:

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0),$$

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi_0\right),$$

$$x = A \sin(2\pi \nu t + \phi_0),$$

где  $x$  – смещение;  $A$  – амплитуда;  $\omega$  – круговая, или циклическая частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu; \quad \nu = \frac{1}{T},$$

где  $\nu$  – частота;  $\phi_0$  – начальная фаза.

- Скорость колеблющейся точки:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \phi_0).$$

- Ускорение колеблющейся точки:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi_0).$$

- Возвращающая сила:

$$F = ma = -mA\omega^2 \sin(\omega t + \phi_0) = -kx,$$

где  $m$  – масса материальной точки;  $k = m\omega^2$  – коэффициент возвращающей силы.

- Кинетическая  $W_{\text{к}}$ , потенциальная  $W_{\text{п}}$  и полная  $W$  энергии гармонического колебания:

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \cos^2\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi_0\right),$$

$$W_n = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \sin^2\left(\frac{2\pi}{T}t + \phi_0\right),$$

$$W = W_k + W_n = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2}.$$

- Период колебания математического маятника:

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

где  $l$  – длина маятника;  $g$  – ускорение свободного падения.

- Период колебания пружинного маятника:

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

где  $k$  – жесткость пружины.

- Период колебания физического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}},$$

где  $J$  – момент инерции маятника относительно оси вращения;  $a$  – расстояние от центра масс до оси вращения.

- Длина волны  $\lambda$ , скорость  $v$  ее распространения и период  $T$  связаны соотношением:

$$\lambda = vT.$$

- Уравнение волны:

$$x = A\sin\omega\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda}\right),$$

где  $A$  – амплитуда;  $T$  – период;  $\lambda$  – длина волны;  $x$  – смещение точки среды (участвующей в волновом процессе) в любой момент времени  $t$ ;  $y$  – расстояние от этой частицы до источника волны.

#### **4. Динамика поступательного движения**

- Второй закон Ньютона:

$$F = ma, \text{ или } F\Delta t = mv_2 - mv_1,$$

где  $m$  – масса тела;  $a$  – ускорение, приобретенное им под действием силы  $F$ ;  $v_1$  и  $v_2$  – начальная и конечная скорости.

- Закон сохранения импульса (количество движения):

$$\sum_{i=1}^n m_i v_i = \text{const},$$

или для двух тел ( $i=2$ ):

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 ,$$

где  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  – векторы скоростей тел до взаимодействия;  $\vec{u}_1$  и  $\vec{u}_2$  – векторы скоростей тех же тел после взаимодействия.

- Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила тяжести:

$$G = mg ;$$

б) сила трения скольжения:

$$F = kN ,$$

где  $k$  – коэффициент трения скольжения;  $N$  - сила нормального давления.

в) сила упругости:

$$F = -kx ,$$

где  $k$  – коэффициент упругости (жесткость пружины),  $x$  – абсолютная деформация;

г) сила гравитационного взаимодействия:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} ,$$

где  $G$  – гравитационная постоянная;  $m_1$  и  $m_2$  – массы тел;  $r$  – расстояние между телами.

- Работа постоянной силы  $F$  на пути  $S$ :

$$A = FS \cos \alpha ,$$

где  $\alpha$  – угол между направлением силы и пути.

- Мощность постоянной силы:

$$N = \frac{A}{t} = Fv \cos \alpha ,$$

где  $v$  – скорость движения.

- Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося поступательно со скоростью  $v$  :

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$

- Потенциальная энергия упругодеформируемого тела:

$$W_n = \frac{k\Delta x^2}{2},$$

где  $\Delta x$  – величина деформации;  $k$  – коэффициент упругости.

- Потенциальная энергия тяготения двух шарообразных тел (или материальных точек) с массами  $m_1$  и  $m_2$ :

$$W_n = -G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

где  $R$  – расстояние между телами;  $G$  – гравитационная постоянная.

- Потенциальная энергия тела массой  $m$ , приподнятого на небольшую высоту  $h$  над землей:

$$W_n = mgh.$$

## **5. Динамика вращательного движения**

- Момент силы  $F$  относительно некоторой оси вращения:

$$M = FR = J\varepsilon,$$

где  $R$  – расстояние между линией действия силы и осью вращения;  $J$  – момент инерции;  $\varepsilon$  – угловое ускорение.

- Моменты инерции некоторых тел массой  $m$  относительно оси, проходящей через центр масс:

а) диска (цилиндра):

$$J = \frac{mR^2}{2},$$

где  $R$  – радиус диска (цилиндра);

б) материальной точки:

$$J = mR^2;$$

в) тонкого стержня длиной  $l$ :

$$J = \frac{1}{12} ml^2;$$

г) шара с радиусом  $R$ :

$$J = \frac{2}{5} mR^2 .$$

- Закон сохранения момента импульса:

$$\sum_{i=1}^n J_i \omega = \text{const}$$

или для двух тел ( $i=2$ ):

$$J_1 \vec{\omega}_1 + J_2 \vec{\omega}_2 = J'_1 \vec{\omega}'_1 + J'_2 \vec{\omega}'_2 ,$$

где  $J_1, J_2$  и  $\vec{\omega}_1, \vec{\omega}_2$  – моменты инерции тел и угловые скорости в начальный момент времени;  $J'_1, J'_2$  и  $\vec{\omega}'_1, \vec{\omega}'_2$  – в момент времени, принятый за конечный.

- Кинетическая энергия вращающегося тела:

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2} .$$

### Примеры решения задач

**Задача №1.** Зависимость пройденного телом пути от времени имеет вид  $S = 2t - 3t^2 + 4t^3$ . Определить силу, действующую на тело с массой  $m=1$  кг в конце второй секунды.

#### Решение

$S = 2t - 3t^2 + 4t^3$	Сила, действующая на тело, по второму закону
$m = 1 \text{ кг}$	Ньютона равна:
$t = 2 \text{ с}$	
$F = ?$	$F = ma = m \frac{d^2 S}{dt^2} .$

Мгновенное значение ускорения  $a$  определяется первой

производной от скорости по времени или второй производной от пути по времени:

$$v = \frac{dS}{dt} = 2 - 6t + 12t^2 ,$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -6 + 24t .$$

При  $t=2 \text{ с}$   $a = -6 + 24 \cdot 2 = 54 \text{ (м/с}^2\text{)}$ . Тогда  $F = 1 \text{ кг} \cdot 54 \text{ м/с}^2 = 54 \text{ Н}$

**Задача №2.** Тело массой 2 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно так, что зависимость пройденного пути от времени выражается уравнением  $S=2t^2+3t+1$ . Определить работу силы за 10 с начала ее действия.

*Решение*

$$\begin{array}{l} S = 2t^2 + 3t + 1 \\ m = 2 \text{ кг} \\ t = 10 \text{ с} \\ \hline A - ? \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Работа, совершаемая силой, выражается через} \\ \text{интеграл:} \end{array} \quad A = \int F dS . \quad (1)$$

Сила, действующая на тело, по второму закону Ньютона:

$$F = ma = m \frac{d^2 S}{dt^2} . \quad (2)$$

Мгновенное значение ускорения определяется первой производной от скорости по времени или второй производной пути по времени. В соответствии с этим получим:

$$v = \frac{dS}{dt} = 4t + 3 ; \quad (3)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = 4 \text{ м / с}^2 ; \quad (4)$$

$$F = ma = 4m . \quad (5)$$

Тогда из формулы (3) имеем :

$$dS = v dt = (4t + 3) dt . \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в уравнение (1), получим:

$$A = \int 4m(4t + 3) dt .$$

Работа, совершаемая силой за 10 с с начала движения, составит:

$$A = \int_0^{10} (16mt + 12m) dt = m \left[ \frac{16t^2}{2} \Big|_0^{10} + 12t \Big|_0^{10} \right] = 2 \cdot [8 \cdot 100 + 12 \cdot 10] = 1840 \text{ Дж} .$$

**Задача №3.** Диск радиусом  $R=10$  см вращается так, что зависимость угла поворота диска от времени задается уравнением  $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $B = 2$  рад/с  $C = 1$  рад/с<sup>2</sup>,  $D = 1$  рад/с<sup>3</sup>). Определить для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения:

1) тангенциальное ускорение  $a_\tau$  ;

- 2) нормальное ускорение  $a_n$  ;  
 3) полное ускорение  $a$  .

### Решение

Найдем угловую скорость, взяв производную по времени от заданного уравнения:

$$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$$

$$B = 2 \text{ рад/с}$$

$$C = 1 \text{ рад/с}^2$$

$$D = 1 \text{ рад/с}^3$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct + 3Dt^2, \quad \text{при } t = 2 \text{ с}$$

$$\omega = 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2 + 3 \cdot 1 \cdot 4 = 18 \text{ рад/с} .$$

$$\text{Угловое ускорение: } \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2C + 6Dt, \quad \text{при } t = 2 \text{ с}$$

---


$$a_\tau - ? \quad a_n - ? \quad a - ?$$

$$\varepsilon = 2 \cdot 1 + 6 \cdot 1 \cdot 2 = 14 \text{ рад/с}^2 .$$

Тангенциальное ускорение:

$$a_\tau = \varepsilon R = 14 \cdot 0,1 = 1,4 \text{ м/с}^2 .$$

$$\text{Нормальное ускорение: } a_n = \omega^2 R = 18^2 \cdot 0,1 = 32,4 \text{ м/с}^2 .$$

$$\text{Полное ускорение: } a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{(1,4)^2 + (32,4)^2} = 34,39 \text{ м/с}^2 .$$

**Задача № 4.** Шар радиусом  $R=10$  см и массой  $m=15$  кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению  $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$  ( $B = 2 \text{ рад/с}^2$ ,  $C = -0,2 \text{ рад/с}^3$ ). Определить момент силы  $M$  для  $t=3$  с.

### Решение

$$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$m = 15 \text{ кг}$$

$$\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$$

$$B = 2 \text{ рад/с}^2$$

$$C = -0,2 \text{ рад/с}^3$$

$$t = 3 \text{ с}$$

Момент силы, согласно уравнению динамики вращательного движения:

$$M = J\varepsilon, \tag{1}$$

где  $J$  – момент инерции шара,

$$J = \frac{2}{5} mR^2 . \tag{2}$$

---


$$M - ?$$

Угловое ускорение определяется первой производной от угловой скорости по времени или второй производной от угла поворота по времени:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{d\varphi}{dt} = 2Bt + 3Ct^2, \\ \varepsilon &= \frac{d\omega}{dt} = 2B + 6Ct.\end{aligned}\quad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), получим:

$$\begin{aligned}M &= \frac{2}{5}mR^2(2B + 6Ct), \\ M &= \frac{2}{5} \cdot 15 \cdot 0,01 [2 \cdot 2 + 6 \cdot (-0,2) \cdot 3] = 0,024 \text{ Н} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

**Задача №5.** По горизонтальной поверхности катится диск со скоростью  $V = 5 \text{ м/с}$ . Определить коэффициент сопротивления, если диск, будучи предоставленным самому себе, остановится, пройдя путь  $20 \text{ м}$ .

*Решение*

$$v = 5 \text{ м/с}$$

Кинетическая энергия диска:

$$S = 20 \text{ м}$$

---


$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \quad (1)$$

$$K - ? \quad \text{где } J - \text{момент инерции диска: } J = \frac{1}{2}mR^2;$$

$\omega$  – угловая скорость:  $\omega = v/R$ .

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{mR^2 \cdot v^2}{2 \cdot 2 \cdot R^2} = \frac{3}{4}mv^2. \quad (2)$$

Эта энергия пойдет на работу по преодолению сил сопротивления  $F_c$ :

$$A = F_c \cdot S = KmgS. \quad (3)$$

Приравнявая (2) и (3), получим:

$$K = \frac{3v^2}{4gS}; \quad K = \frac{3 \cdot 5^2}{4 \cdot 9,81 \cdot 20} = 0,096.$$

**Задача №6.** Радиус Луны  $R = 1,736 \cdot 10^6 \text{ м}$ , а ее средняя плотность  $\rho = 3,33 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Определить ускорение свободного падения на поверхности планеты.



### Решение

$$R = 1,736 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$\rho = 3,33 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot \text{с}^2$$

На всякое тело, расположенное вблизи поверхности планеты, действует сила тяжести:

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

Ее можно приравнять к силе гравитационного

$$g - ? \quad \text{тяготения : } F = G \frac{mM}{R^2}. \quad (2)$$

$$\text{Откуда } g = G \frac{M}{R^2}, \quad (3)$$

$$\text{где } M - \text{масса Луны, } M = \rho V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (4)$$

$$\text{Подставив (4) в (3), получим: } g = \frac{4}{3} G \cdot \rho \pi R, \quad (5)$$

$$g = \frac{4}{3} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 3,33 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 1,736 \cdot 10^6 = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

**Задача №7.** Логарифмический декремент затухания камертона, колеблющегося с частотой  $\nu = 100 \text{ с}^{-1}$ , равен 0,002. Через какой промежуток времени амплитуда колебаний возбужденного камертона уменьшится в 100 раз? Как изменится при этом энергия колебаний?

### Решение

$$\nu = 100 \text{ с}^{-1}$$

Амплитуда затухающих колебаний изменяется со временем

$$\lambda = 0,002$$

по закону:

$$A = A_0 e^{-\beta t}, \quad (1)$$

$$\frac{A_0}{A} = 100$$

где  $\beta = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$  -  $\beta$  - коэффициент затухания;

$$T - \text{период колебаний: } T = \frac{1}{\nu};$$

$\lambda$  - логарифмический декремент затухания.

$$1) t - ?$$

С учетом этого формулу (1) можно записать так:

$$2) \frac{E}{E_0} - ? \quad A = A_0 e^{-\lambda \nu t}. \quad (2)$$

Откуда

$$t = \frac{1}{\lambda \nu} \cdot \ln \frac{A_0}{A}. \quad (3)$$

Энергия колебаний пропорциональна квадрату произведения амплитуды и частоте колебаний:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2. \quad (4)$$

$$\text{В данной задаче } m = \text{const}, \quad \omega = 2\pi\nu - \text{const}, \quad \text{поэтому } \frac{E}{E_0} = \left( \frac{A}{A_0} \right)^2. \quad (5)$$

$$\text{Проведем вычисления: } t = \frac{1}{0,002 \cdot 100} \ln 100 = 23 \text{ с}.$$

## Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика

## Основные формулы

- Количество вещества однородного газа (в молях):

$$\nu = \frac{N}{N_A}, \text{ или } \nu = \frac{m}{M},$$

где  $N$  – число молекул газа;  $N_A$  – число Авогадро;  $m$  – масса газа;  $M$  – молярная масса газа.

- Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния газа):

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT,$$

где  $p$  – давление газа;  $V$  – его объем;  $T$  – температура;  $R$  – молярная газовая постоянная.

- Масса молекулы  $m_i$ :

$$m_i = \frac{m}{N_A}.$$

- Концентрация молекул (число молекул в единице объема)  $n_0$ :

$$n_0 = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{M} \rho,$$

где  $N$  – число молекул, содержащихся в данном объеме;  $\rho$  – плотность вещества.

- Средняя кинетическая энергия движения молекулы:

$$\langle w \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где  $i$  – число степеней свободы;  $k$  – постоянная Больцмана.

- Основное уравнение кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \langle w_{\text{п}} \rangle, \quad \langle w_{\text{п}} \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где  $n_0$  – концентрация молекул;  $\langle w_{\text{п}} \rangle$  – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.

- Зависимость давления газа от концентрации молекул  $n_0$  и температуры  $T$ :

$$p = n_0 kT.$$

- Средняя квадратичная скорость молекулы:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_1}}.$$

- Средняя арифметическая скорость молекулы:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_1}}.$$

- Наиболее вероятная скорость молекулы:

$$v_g = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_1}},$$

где  $m_1$  – масса одной молекулы.

- Удельная теплоемкость газа при постоянном объеме ( $c_v$ ) и постоянном давлении ( $c_p$ ):

$$c_v = \frac{iR}{2M}; \quad c_p = \frac{(i+2)R}{2M}.$$

- Связь между удельной ( $c$ ) и молярной ( $C$ ) теплоемкостями:

$$C = c \cdot \mu.$$

- Уравнение Роберта Майера:

$$C_p - C_v = R.$$

- Среднее число соударений молекул:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} n_0 d^2 \langle v \rangle,$$

где  $d$  – эффективный диаметр молекулы.

- Средняя длина свободного пробега молекулы:

$$\langle l \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} n_0 d}.$$

- Масса, переносимая при диффузии сквозь площадку  $\Delta S$  за промежуток времени  $\Delta t$  (закон Фика):

$$\Delta m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $\Delta \rho / \Delta x$  – градиент плотности.

- Энергия, переносимая вследствие теплопроводности через площадку  $\Delta S$  за промежуток времени  $\Delta t$  (закон Фурье):

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  – градиент температуры.

- Сила внутреннего трения  $F$ , действующая между слоями жидкости, пропорциональна площадке двух соприкасающихся слоев жидкости  $\Delta S$ , градиенту скорости  $\frac{\Delta v}{\Delta x}$  и коэффициенту внутреннего трения  $\eta$  (закон Ньютона):

$$\Delta F = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S.$$

- Внутренняя энергия газа:

$$W = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_v T.$$

- Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где  $Q$  – теплота, сообщенная системе (газу);  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы;  $A$  – работа, совершаемая системой против внешних сил.

- Работа расширения газа:

а) при изобарном процессе:  $A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1);$

б) при изотермическом процессе:

$$A = Q = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

в) при адиабатном процессе:

$$A = -U = -\frac{m}{M} C_v \Delta T.$$

- Уравнение Пуассона для адиабатного процесса:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \quad \text{и} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

- Термический КПД идеальной тепловой машины:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $Q_1$  – теплота, полученная рабочим телом от нагревателя;  $Q_2$  – теплота, переданная рабочим телом охладителю;  $T_1$  и  $T_2$  – термодинамические температуры нагревателя и охладителя.

- Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\alpha = \frac{F}{l},$$

где  $F$  – сила поверхностного натяжения, действующая на контур  $l$ , ограничивающий поверхность жидкости.

- Высота подъема жидкости в капиллярной трубке:

$$h = \frac{2\alpha \cos \Theta}{\rho g R},$$

где  $\Theta$  – краевой угол;  $\rho$  – плотность жидкости;  $R$  – радиус трубки.

- Изменение энтропии системы при переходе из состояния А в состояние В:

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T},$$

где  $dQ$  – количество теплоты, переданное системой;

$T$  – температура, при которой происходила теплопередача.

### Примеры решения задач

**Задача №1.** Определить среднюю кинетическую энергию молекулы кислорода, находящейся при температуре  $17^\circ\text{C}$ . Найти также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

#### Решение

$$T = 17^\circ\text{C} = 17 + 273 = 290\text{ K}$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}$$

$$m = 4\text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Средняя кинетическая энергия (поступательного и вращательного движения) одной молекулы:

$$\omega = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T, \quad (1)$$

где  $i$  – число степеней свободы, двухатомного газа  $i = 5$  ( $i = 3$  на поступательное движение и  $i = 2$  на вращательное движение);  $k$  – постоянная

$\omega$  – ?

$W$  – ?

Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ .

$$\omega = \frac{5}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 = 1 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа:

$$W = N \cdot \omega_B, \quad (2)$$

Где  $N$  – число молекул:  $N = N_A \cdot \frac{m}{M}; \quad (3)$

$N_A$  – число Авогадро;

$\omega_B$  – кинетическая энергия вращательного движения:

$$\omega_B = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T = \frac{2}{2} \cdot k \cdot T = k \cdot T. \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (2), получим:  $W = N_A \cdot \frac{m}{M} \cdot k \cdot T.$

$$W = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 = 301 \text{ Дж}.$$

**Задача №2.** Азот массой  $m$  нагревается в одном случае изобарно, а в другом изохорно на  $\Delta T$ . Во сколько раз потребуется больше теплоты в первом случае, чем во втором?

### Решение

1)  $P = \text{const}$       Теплота, потребляемая при изобарном процессе ( $P=\text{const}$ ):

2)  $V = \text{const}$

$m = \text{const}$

$\Delta T = \text{const}$

$i = 5$

Теплота, потребляемая при изохорном процессе ( $V=\text{const}$ ):

$$Q_P = C_P \frac{m}{M} \Delta T. \quad (1)$$

$$Q_V = C_V \frac{m}{M} \Delta T, \quad (2)$$

$\frac{Q_1}{Q_2} = ?$

где  $C_P$  и  $C_V$  – молярные теплоемкости при постоянном давлении и объеме соответственно.

Поделив (1) на (2), получим:

$$\frac{Q_P}{Q_V} = \frac{C_P \frac{m}{M} \Delta T}{C_V \frac{m}{M} \Delta T} = \frac{C_P}{C_V}. \quad (3)$$

Так как

$$C_P = \frac{(i+2)R}{2}, \quad (4)$$

$$C_V = \frac{iR}{2}, \quad (5)$$

то, подставив (4) и (5) в (3), получим:

$$\frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5} = 1,4.$$

Таким образом, для любой массы газа при одинаковой разности температур отношение показателей теплоты есть величина постоянная.

**Задача №3.** Определить диаметр молекулы кислорода, если известно, что для кислорода коэффициент внутреннего трения при нормальных условиях равен  $\eta = 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ .

*Решение*

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{моль}$$

Коэффициент внутреннего трения:

$$\eta = 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$$

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \cdot \rho, \quad (1)$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

где  $\bar{v}$  – средняя арифметическая скорость:

$$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, \quad (2)$$

$$d - ?$$

$\bar{\lambda}$  – средняя длина свободного пробега молекулы кислорода:

$$\bar{\lambda} = \frac{KT}{\sqrt{2} \cdot \pi d^2 \cdot n_0}, \quad (3)$$

$$n_0 - \text{концентрация молекул:} \quad n_0 = \frac{P}{KT}, \quad (4)$$

$$\rho - \text{плотность кислорода:} \quad \rho = \frac{PM}{RT}. \quad (5)$$

Подставив (2),(3),(4),(5) в уравнение (1), получим:

$$\eta = \frac{2 \cdot K}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}}, \text{ откуда } d^2 = \frac{2K}{3\pi\eta} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}},$$

$$d^2 = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{3 \cdot 3,14 \cdot 18,8 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 273}{8,31 \cdot 3,14}} = 9 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2, \quad d = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

**Задача № 4.** Один килограмм водорода нагрели до температуры  $100^\circ\text{C}$  в условиях свободного расширения ( $P=\text{const}$ ). Определите: 1) количество теплоты, сообщенное газу; 2) изменение его внутренней энергии; 3) работу расширения.

*Решение*

$$\begin{aligned} m &= 1 \text{ кг} & 1. \text{ Количество теплоты } Q, \text{ сообщенное водороду} \\ M &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль} & \text{при } P=\text{const, определим по формуле:} \\ \Delta T &= 100^\circ\text{C} \\ R &= 8,32 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{K)} & Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T, \end{aligned} \quad (1)$$

1)  $Q$  – ? 2)  $\Delta U$  – ? 3)  $A$  – ? где  $c_p$  – удельная теплоемкость газа при  $P=\text{const}$ :

$$c_p = \frac{(i+2)R}{2M}, \quad (2)$$

где  $i$  – число степеней свободы, для двухатомного газа  $i=5$ . Подставив (2)

в (1), получим:

$$Q = 1 \cdot \frac{(5+2)}{2} \cdot \frac{8,32}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 14,55 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

2. Внутренняя энергия газа выражается формулой:

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T,$$

а изменение внутренней энергии:



$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T, \quad (3)$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,32 \cdot 100 = 10,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

3) Работу расширения газа определим по формуле, выражающей первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A. \quad (4)$$

Откуда  $A = Q - \Delta U$ ,

$$A = 14,55 \cdot 10^5 - 10,40 \cdot 10^5 = 4,15 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

**Задача № 5.** Азот, находящийся при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении  $1,5 \text{ атм}$ , был адиабатически сжат до объема в 5 раз меньше начального. Определить давление и температуру азота после его сжатия.

*Решение*

$$P_1 = 1,5 \text{ атм}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 5$$

$$T_1 = 27^\circ + 273^\circ = 300 \text{ К}$$

$$i = 5$$

---


$$1) P_2 - ?$$

$$2) T_2 - ?$$

Давление после сжатия определим по формуле

Пуассона:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \text{ откуда } P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – отношение теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме:

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = \frac{5+2}{5} = 1,4, \quad (2)$$

где  $i$  – число степеней свободы,  
 $i = 5$  для двухатомного газа.

Температуру  $T_2$  после сжатия определим из формулы:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \text{ откуда } T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}.$$

Произведем вычисления:  $P_2 = 1,5 \cdot (5)^{1,4} = 14,3 \text{ атм}$ .  $T_2 = 300 \cdot 5^{0,4} = 571 \text{ К}$ .

### **Раздел 3. Электростатика и постоянный ток**

#### **Основные формулы**

- По закону Кулона сила взаимодействия  $F$  между точечными зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$ , находящимися на расстоянии  $r$  один от другого в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ,

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

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

- Напряженность электрического поля:

$$E = \frac{F}{Q},$$

где  $F$  – сила, с которой поле действует на пробный заряд  $Q$ .

- Напряженность поля точечного заряда  $Q$ , или поля вне равномерно заряженного шара:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

где  $r$  – расстояние от заряда  $Q$  или от центра шара до точки, в которой определяется напряженность.

- Напряженность поля прямолинейной равномерно заряженной бесконечно длинной нити:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

где  $\tau$  – линейная плотность заряда нити;  $r$  – расстояние от нити до точки, в которой определяется напряженность поля.

- Напряженность поля, образованного равномерно заряженной бесконечной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0},$$

где  $\sigma$  – поверхностная плотность заряда плоскости.

- Разность потенциалов между двумя точками электрического поля определяется работой, совершаемой при перемещении единичного положительного заряда из одной точки поля в другую:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{Q},$$

где  $A$  – работа перемещения заряда  $Q$ .

- Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

где  $r$  – расстояние от заряда  $Q$ , создающего поле, до точки, в которой определяется потенциал.

- Для плоского конденсатора связь между напряженностью поля  $E$  и

разностью потенциалов  $U$  его пластин:

$$E = \frac{U}{d},$$

где  $d$  – расстояние между пластинами.

- Емкость уединенного проводника:

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

- Емкость плоского конденсатора:

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

где  $S$  - площадь пластины конденсатора.

- Емкость уединенного проводящего шара:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 r,$$

где  $r$  – радиус шара.

• Емкость  $C$  системы конденсаторов связана с емкостями  $C_i$  входящих в нее конденсаторов соотношениями:

а) при последовательном соединении:

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}, \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n};$$

б) при параллельном соединении:

$$C = \sum C_i, \text{ или } C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

• Энергию  $W$  уединенного заряженного проводника можно определить по следующим формулам:

$$W = \frac{Q \cdot \varphi}{2}; \quad W = \frac{C \cdot \varphi^2}{2}; \quad W = \frac{Q^2}{2 \cdot C},$$

где  $Q$ ,  $\varphi$  и  $C$  – соответственно заряд, потенциал и емкость проводника.

Для плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0 S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0 E^2 S d}{2} = \frac{\sigma^2 S d}{2\varepsilon_0},$$

где  $S$  – площадь пластины;  $U$  – разность потенциалов между пластинами;  $\sigma$  – поверхностная плотность заряда пластины;  $E$  – напряженность электрического поля конденсатора.

- Плотность энергии электрического поля:

$$w = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 E^2.$$

• Сила постоянного тока  $I$  связана с количеством электричества  $Q$ , проходящим через поперечное сечение проводника за время  $t$ , следующим соотношением:

$$I = \frac{Q}{t}.$$

• Плотность тока:

$$j = \frac{I}{S},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения проводника.

• Сопротивление проводника длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $S$ :

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

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника.

• Закон Ома для участка цепи:

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

где  $U$  – разность потенциалов на концах участка;  $R$  – его сопротивление.

• Закон Ома для полной цепи:

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

где  $\xi$  – электродвижущая сила источника тока;  $R$  – внешнее сопротивление цепи,  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

• Удельное сопротивление  $\rho$  проводника связано с температурой  $t$  соотношением:

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

где  $\rho_0$  – удельное сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

• Работа тока  $A$  на участке цепи (или количество теплоты, выделенное в нем при прохождении тока) определяется формулами

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

где  $t$  – время прохождения тока.

• Мощность тока, выделяемая на участке цепи, определяется соотношением

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

- Полная мощность, выделяемая в цепи:

$$N = \xi I.$$

- Для расчета разветвленных цепей применяются два правила Кирхгофа. Первое правило для алгебраической суммы токов в узле:

$$\sum I = 0.$$

Второе правило для алгебраической суммы произведений токов на сопротивление участков и алгебраической суммы электродвижущих сил в контуре:

$$\sum \xi = \sum IR.$$

- Масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде, пропорциональна химическому эквиваленту  $A/n$ , силе тока, протекающего через электролит, и времени прохождения тока:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It,$$

где  $F$  – число Фарадея;  $M$  – молярная масса;  $n$  – валентность.

### Примеры решения задач

**Задача № 1.** Два заряда  $Q_1 = +8$  нКл и  $Q_2 = -6$  нКл находятся в воздухе на расстоянии  $d = 8$  см друг от друга. Определить напряженность и потенциал электрического поля в точке А, находящейся на расстоянии 10 см от каждого заряда.

*Решение*

$$Q_1 = 8 \text{ нКл} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

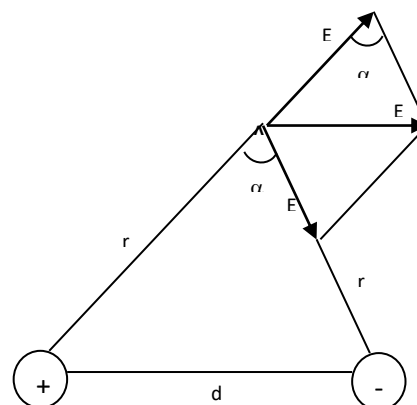
$$Q_2 = -6 \text{ нКл} = -6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$d = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

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

$$E - ? \quad \varphi - ?$$



Напряженность электрического поля в точке А равна геометрической сумме напряженностей  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ , создаваемых зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Модуль результирующей напряженности  $E$  по теореме косинусов определяется как диагональ параллелограмма, построенного на векторах  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ :

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}. \quad (1)$$

Абсолютные значения напряженностей и  $\cos\alpha$  определяем по формулам:

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad E_2 = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}. \quad (2)$$

По теореме косинусов:

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2} = \frac{2r^2 - d^2}{2r^2} \quad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), получим:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 \pm 2Q_1Q_2\cos\left(\frac{2r^2 - d^2}{2r^2}\right)}.$$

$$E = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,858 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 0,01} \sqrt{64 \cdot 10^{-18} + 36 \cdot 10^{-18} - 2 \cdot 8 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-9} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot 0,01 - 64 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,01}\right)} = 4525,74 \text{ В/м}.$$

Потенциал электрического поля в точке А равен алгебраической сумме потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  полей, создаваемых зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$ :

$$\phi = \phi_1 + \phi_2. \quad (4)$$

Потенциал поля точечного заряда

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} (Q_1 - Q_2) \quad (6)$$

Вычислим:

$$\phi = \frac{10^{-9} \cdot (8 - 6)}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 0,1} = 180 \text{ В}.$$

**Задача № 2.** На помещенный между обкладками конденсатора заряд  $Q = 2,5$  нКл действует сила  $F = 50$  мкН. Площадь каждой пластины  $100$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d = 3$  см. Определить: 1) емкость конденсатора; 2) напряженность между обкладками; 3) разность потенциалов между обкладками; 4) энергию конденсатора; 5) объемную плотность энергии.

### Решение

1. Емкость конденсатора:

$$Q = 2,5 \text{ нКл} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$F = 50 \text{ мкН} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$d = 3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,858 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}; \quad (1)$$

$$C = \frac{8,858 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-3}} = 2,95 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м.}$$

2. Напряженность между обкладками:

1)  $C - ?$  2)  $E - ?$  3)  $U - ?$   
4)  $W - ?$  5)  $\omega - ?$

$$E = \frac{F}{Q} \quad (2)$$

$$E = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{2,5 \cdot 10^{-9}} = 2 \cdot 10^4 \text{ В/м}$$

3. Разность потенциалов:

$$U = E \cdot d; \quad (3)$$

4. Энергия конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2}; \quad (4)$$

$$W = \frac{2,95 \cdot 10^{-11} \cdot 3600}{2} = 51,5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж.}$$

5. Объемная плотность энергии:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{W}{S \cdot d}; \quad (5)$$

$$\omega = \frac{51,5 \cdot 10^{-9}}{10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3.$$

**Задача № 3.** Сколько времени потребуется для нагревания воды массой 1,0 кг от начальной температуры  $10^0$  С до кипячения в электрическом чайнике с нагревателем мощностью 800 Вт, если его КПД равен 90%? Какова сила тока в электрической спирали, если напряжение в сети 220 В?

$$m=1,0 \text{ кг}$$

*Решение*

$$t_1 = 10^0 \text{ С}$$

1. Количество теплоты, необходимой для нагревания

$$t_2 = 100^0 \text{ С}$$

воды:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t. \quad (1)$$

$$N = 800 \text{ Вт}$$

Она связана с мощностью нагревателя:

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$Q = \eta N t. \quad (2)$$

$$\eta = 90 \% = 0,9$$

Приравняв (1) и (2), получим:

$$t = \frac{cm \Delta t}{\eta N};$$

$$1) t = ? \quad 2) I = ?$$

$$t = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 90}{0,9 \cdot 800} = 525 \text{ с.}$$

$$2. \text{ Сила тока: } I = \frac{N}{U} = \frac{800}{220} = 3,6 \text{ А.}$$

**Задача № 4.** Внутреннее сопротивление аккумулятора 1 Ом. При силе тока 0,5 А его КПД равен 0,8. Определить ЭДС аккумулятора.

*Решение*

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$\text{КПД источника тока: } \eta = \frac{R}{R + r}. \quad (1)$$

$$J = 0,5 \text{ А}$$

$$\text{Отсюда } R = \frac{4 \cdot r}{1 - \eta}. \quad (2)$$

$$\eta = 0,8$$

$$\text{Закон Ома для замкнутой цепи: } J = \frac{E}{R + r}. \quad (3)$$

Подставив (2) в (1), получим:

$$E - ?$$

$$E = J(R + r) = J \left( \frac{\eta \cdot r}{1 - \eta} + r \right) = \frac{Jr}{1 - \eta}; \quad E = \frac{0,5 \cdot 1}{1 - 0,8} = 2,5 \text{ В.}$$



**Задача № 5.** Два одинаковых источника тока соединены в одном случае последовательно, в другом параллельно и замкнуты на внешнее сопротивление 10 Ом. При каком внутреннем сопротивлении источника сила тока во внешней цепи будет в обоих случаях одинаковой?

### Решение

$$R = 10 \text{ Ом}$$

При последовательном соединении  $E = E_1 + E_2$ ,

$$J_1 = J_2$$

а внутреннее сопротивление  $r = r_1 + r_2 = 2r_1$ .

$$E_1 = E_2$$

По закону Ома:  $J_1 = \frac{2E}{R + 2r_1}$ .

$$r_1 = r_2$$

\_\_\_\_\_ При параллельном соединении  $E = E_1$ ,

$$r - ?$$

а внутреннее сопротивление  $r = \frac{rr_1}{r_1 + r_1} = \frac{r_1^2}{2r_1} = 0,5r_1$ .

По закону Ома:  $J_2 = \frac{E}{0,5r_1}$ .

По условию  $J_1 = J_2$ , или  $\frac{2E}{R + 2r_1} = \frac{E}{R + 0,5r_1}$ ;  $R + 2r_1 = 2(R + 0,5r_1)$ ,  $R + 2r_1 = 2R + r$ .

Отсюда  $R = r_1 = 1 \text{ Ом}$ .

## Раздел 4. Электромагнетизм и переменный ток

### Основные формулы

- Связь между индукцией и напряженностью магнитного поля:

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

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

- Закон Био-Савара-Лапласа:

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

где  $dB$  – магнитная индукция поля, создаваемая элементом проводника длиной  $dl$  с током  $J$ ;  $r$  – радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке,

в которой вычисляется магнитная индукция;  $\alpha$  – угол между радиус-вектором и направлением тока в элементе проводника.

- Магнитная индукция в центре кругового тока:

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

где  $R$  – радиус кругового витка.

- Магнитная индукция поля прямого тока:

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

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

- Магнитная индукция поля, создаваемая отрезком провода с током  $J$ :

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \cdot \frac{J}{z_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы между направлением тока и радиус-вектора, проведенные из начала и конца проводника в рассматриваемую точку.

- Напряженность магнитного поля внутри соленоида:

$$H = J \cdot n = J \frac{N}{L},$$

где  $n$  – число витков на единицу длины соленоида;  $N$  – общее число витков;

$L$  – длина соленоида.

- Поток магнитной индукции, связанной с контуром:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где  $S$  – площадь, ограниченная контуром;  $\alpha$  – угол между нормалью к плоскости контура и направлением вектора магнитной индукции.

- На прямолинейный проводник длиной  $l$  с током  $J$ , находящийся в магнитном поле, действует сила Ампера:

$$F = BJL \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между направлениями тока и вектора индукции.

- На заряженную частицу, движущуюся со скоростью  $v$  в магнитном потоке, действует сила Лоренца:

$$F = qBv \sin \alpha,$$

где  $q$  – заряд частицы,  $\alpha$  – угол между направлением поля и скоростью частицы.

- При перемещении проводника с током  $J$  в магнитном поле (перпендикулярно полю) совершается работа:

$$\Delta = J \Delta \Phi,$$

где  $\Delta\Phi$  – магнитный поток через площадь, описываемую проводником при перемещении.

- Закон Фарадея для электродвижущей силы индукции:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где  $\frac{d\Phi}{dt}$  – скорость изменения магнитного потока через площадь, ограниченную кругом.

- Возникающая в контуре ЭДС самоиндукции:

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

где  $L$  – индуктивность в контуре;  $\frac{dI}{dt}$  – скорость изменения тока в контуре.

- Индуктивность соленоида:

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

где  $N$  – число витков;  $S$  – площадь поперечного сечения соленоида;  $l$  – длина соленоида.

Индуктивность контура  $L$  связана с пронизывающим его магнитным потоком  $\Phi$  следующим соотношением:

$$L = \frac{\Phi}{I},$$

где  $I$  – ток в контуре, обуславливающий магнитный поток.

Энергия магнитного поля, создаваемого током  $I$  в контуре и индуктивностью  $L$ :

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

- Плотность энергии магнитного поля:

$$\omega = \frac{1}{2}HB = \frac{1}{2}\mu_0\mu H^2 = \frac{B^2}{2\mu_0\mu},$$

где  $H$  – напряженность;  $B$  – индукция магнитного поля.

• ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью  $S$ , содержащей  $N$  витков, при вращении ее с угловой скоростью  $\omega$  в магнитном поле с индукцией  $B$  определяется соотношением:

$$E = BS\omega N \sin\omega t,$$

где  $\omega t$  – угол поворота рамки к моменту времени  $t$ .

• Период собственных колебаний в контуре, не содержащих омического сопротивления (формула Томсона):

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

Полное сопротивление цепи переменного тока, содержащей последовательно

соединенные омическое сопротивление  $R_0$ , индуктивность  $L$  и емкость:

$$R = \sqrt{R_0^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

### Примеры решения задач

**Задача № 1.** Определить индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной  $a = 20$  см, если по рамке течет ток 3 А.

#### Решение

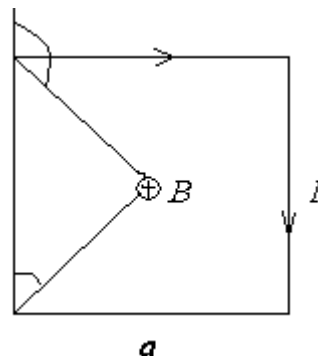
$$a = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$I = 3 \text{ А}$$

$$B = ?$$

Индукция магнитного поля в центре рамки равна векторной сумме индукций магнитного поля, создаваемых всеми её сторонами:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4.$$



Все эти факторы направлены в одну сторону перпендикулярно к плоскости рамки и вследствие симметрии  $B = 4B_j$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi \cdot \frac{a}{2}} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \text{ где } \alpha_1 = 45^\circ; \alpha_2 = 180^\circ - 45^\circ = 135^\circ.$$

$$\text{Окончательно имеем: } B = \frac{4\mu_0 I}{4\pi \cdot 0,5a} (\cos 45^\circ - \cos 135^\circ)$$

$$B = \frac{4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3}{4\pi \cdot 0,5 \cdot 0,2} [0,7 - (-0,7)] = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 16,8 \text{ мкТл}$$

**Задача № 2.** Катушка длиной  $l = 40$  см и диаметром 5 см содержит 300 витков. По катушке течет ток  $I = 1$  А. Определить: 1) индуктивность катушки; 2) магнитный поток, пронизывающий площадь её поперечного сечения.

#### Решение

$$l = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

1. Индуктивность соленоида:

$$d = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l}. \quad (1)$$

$$N = 300 \text{ витков}$$

Площадь поперечного сечения:

$$I=1 \text{ A}$$

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

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

С учетом (2) индуктивность:

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 \pi d^2}{l \cdot 4}; \quad (3)$$

1)  $L$  - ? 2)  $\Phi$  - ?

$$L = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 90000 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 0,5} = 449,1 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

$$2. \text{ Магнитный поток: } \Phi = \frac{LJ}{N}; \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{449,1 \cdot 10^{-6}}{300} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб.}$$

**Задача № 3.** В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$  равномерно с частотой  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$  вращается рамка, содержащая 1000 витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки  $200 \text{ см}^2$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна направлению магнитной индукции. Определить максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке.

*Решение*

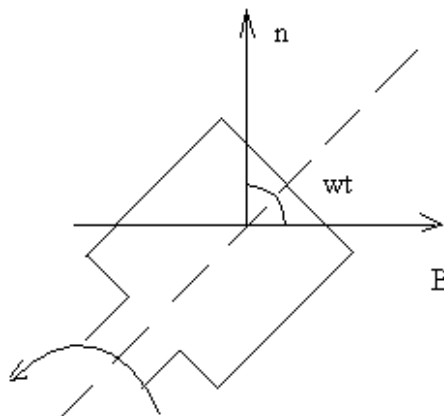
$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$n = 600 \text{ об/мин} = 10 \text{ об/с}$$

$$N = 1000 \text{ витков}$$

$$S = 200 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$E_{\max} - ?$$



$$\text{ЭДС по закону Фарадея: } E = -\frac{d\Phi}{dt};$$

$$\Phi = NBS \cos \alpha, \quad \alpha = \omega t = 2\pi n t.$$

$$\text{Окончательно имеем: } E = -NBS \frac{d}{dt}(\cos 2\pi n t) = NBS \cdot 2\pi n \cdot \sin 2\pi n t \cdot E_{\max} \text{ — при } \sin 2\pi n t.$$

$$E_{\max} = 2\pi n NBS = 6,28 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 125 \text{ В.}$$

**Задача № 4.** По обмотке соленоида индуктивностью  $L = 3 \text{ мГн}$ , находящегося в диамагнитной среде, течет ток  $I = 0,4 \text{ А}$ . Площадь поперечного сечения  $S = 10 \text{ см}^2$  и число витков  $N = 1000$ . Определить внутри соленоида: 1) энергию магнитного поля; 2) магнитную индукцию.

### Решение

$$\begin{array}{l} L = 3 \text{ мГн} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \\ I = 0,4 \text{ А} \\ S = 10 \text{ см}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2 \\ N = 1000 \end{array} \quad \begin{array}{l} 1. \text{ Энергия магнитного поля: } W = \frac{LI^2}{2}; \\ \\ W = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,36}{2} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.} \end{array} \quad (1)$$

---


$$1) W - ? \quad 2) B - ? \quad 2. \text{ Индукция магнитного поля соленоида: } B = \mu_0 \mu H, \quad (2)$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля.

Зная индуктивность, можно определить магнитную проницаемость:

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

откуда  $\mu = \frac{L \cdot l}{\mu_0 N^2 S}, \quad (3)$

где  $l$  – длина соленоида.

Напряженность магнитного поля:  $H = Jn = J \frac{N}{l}. \quad (4)$

Подставив (4) и (3) в (2), получим:  $B = \frac{\mu_0 \cdot L \cdot l}{\mu_0 \cdot N^2 \cdot S} \cdot \frac{I \cdot N}{l} = \frac{L \cdot I}{N \cdot S}; \quad (5)$

$$[B] = \frac{1 \text{ Гн} \cdot 1 \text{ А}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Тл.}$$

Вычислим  $B$ :  $B = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6}{1000 \cdot 10^{-3}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$

## Раздел 5. Оптика. Физика атома и атомного ядра

### Основные формулы

#### 1. Оптика

- Закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = n_{12} = \frac{v_1}{v_2},$$

где  $\alpha$  – угол падения;  $\beta$  – угол преломления;  $n_{12}$  – показатель преломления второй среды относительно первой;  $v_1$  и  $v_2$  – скорости распространения света в первой и второй средах.

- Оптическая сила тонкой линзы, помещенной в однородную среду:

$$D = \frac{1}{F} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где  $a$  и  $b$  – расстояния от предмета и изображения до линзы;  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны линзы;  $n$  – относительный показатель преломления материала линзы;  $F$  – фокусное расстояние линзы.

- Увеличение линзы

$$y = \frac{b}{a};$$

увеличение микроскопа

$$N = \frac{Ll}{F_{об} F_{ок}},$$

где  $L$  – расстояние наилучшего зрения (25 см);  $l$  – расстояние между внутренними фокусами объектива и окуляра;  $F_{об}$  и  $F_{ок}$  – фокусные расстояния объектива и окуляра.

- Световой поток  $\Phi_\lambda$  монохроматического излучения определяется произведением мощности этого излучения  $W_\lambda$  на коэффициент видности  $V_\lambda$ . Световой поток немонохроматического излучения  $\Phi$  суммируется из всех  $\Phi_\lambda$ :

$$\Phi = \sum \Phi_\lambda = \sum W_\lambda V_\lambda.$$

- Сила света измеряется световым потоком, создаваемым точечным источником света в единичном телесном угле:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}.$$

- Освещенность характеризуется величиной светового потока, приходящегося на единицу площади:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

- Точечный источник силой света  $I$  создает на площадке, отстоящей от него на расстояние  $r$ , освещенность:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2},$$

где  $\alpha$  – угол падения лучей.

- Интенсивность света, прошедшего через слой прозрачного вещества толщиной  $a$ , уменьшается по закону Бугера:

$$J = J_0 e^{-ka},$$

где  $J_0$  и  $J$  – соответственно интенсивности света, падающего и прошедшего через этот слой;  $k$  – коэффициент поглощения вещества.

- Разность хода  $\Delta l$  и разность фаз  $\Delta\theta$  двух когерентных световых волн связаны соотношением

$$\Delta\theta = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda},$$

где  $\lambda$  – длина световой волны.

- Условие возникновения интерференционных максимумов:

$$\Delta l = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Условие возникновения интерференционных минимумов:

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

- Расстояние между соседними интерференционными максимумами (или минимумами) в интерференционной картине, создаваемой на экране двумя когерентными источниками света, отстоящими на расстояние  $d$  друг от друга:

$$\Delta x = k \frac{\lambda L}{d},$$

где  $L$  – расстояние от источников света до экрана.

- При дифракции света на одной щели (падающего нормально на эту щель) дифракционные максимумы и минимумы определяются соотношениями:

$$a \sin \phi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (\text{для максимумов}),$$

$$a \sin \phi' = k\lambda \quad (\text{для минимумов}),$$

где  $a$  – ширина щели;  $\lambda$  – длина световой волны;  $\phi$ ,  $\phi'$  – углы отклонения лучей от нормали (углы дифракции);  $k$  – порядковый номер максимума (или минимума).

- Разрешаемое расстояние оптического микроскопа:

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin u / 2},$$

а его разрешающая способность  $1/\Delta y$ . Здесь  $\lambda$  – длина световой волны;  $n$  – показатель преломления среды, находящейся между препаратом и объективом;  $u$  – апертурный угол объектива.

- При дифракции света на прозрачной дифракционной решетке направления, в которых наблюдаются максимумы света, определяются из условия

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda,$$

где  $d$  – постоянная решетки;  $\lambda$  – длина световой волны;  $\varphi$  – угол дифракции;  $k = 0, 1, 2, \dots$  – порядок спектра.

- Положение дифракционных максимумов при дифракции рентгеновских



лучей, зеркально отраженных от кристаллической решетки, определяется формулой Вульфа – Бреггов:

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

где  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения;  $d$  – расстояние между атомными плоскостями кристалла;  $\phi$  – угол скольжения (угол между падающим лучом и гранью кристалла);  $k = 1, 2, 3, \dots$ . Формула Вульфа – Бреггов верна и для дифракции электронных лучей (пучков).

• Длина волны  $\lambda$ , соответствующая движущейся частице, определяется формулой де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где  $m$  и  $v$  – масса и скорость частицы;  $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка.

• Угол падения  $\alpha_p$  естественного луча на границу раздела диэлектрических сред, при котором отраженный луч полностью поляризуется, связан с относительным показателем преломления  $n_{21}$  этих сред законом Брюстера:

$$\operatorname{tg} \alpha_p = n_{21}.$$

• Интенсивность света  $J$ , прошедшего через поляризатор и анализатор, выражается законом Малюса:

$$J = J_0 \cos^2 \alpha,$$

где  $J_0$  – интенсивность света, падающего на анализатор, равная 0,5 интенсивности естественного света;  $\alpha$  – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

• Угол  $\theta$  поворота плоскостей колебаний поляризованного света, прошедшего через слой оптически активного вещества толщиной  $l$ , выражается соотношениями:

$$\theta = \alpha l C \quad (\text{для растворов}),$$

$$\theta = \alpha^* l \quad (\text{для кристаллов}),$$

где  $\alpha$  и  $\alpha^*$  – удельные вращения соответственно для растворов и кристаллов;  $C$  – концентрация раствора (масса оптически активного вещества в единице объема раствора).

• Полные лучеиспускательная  $E$  и лучепоглощательная  $A$  способности любого тела связаны с полной лучеиспускательной способностью  $\varepsilon$  абсолютно черного тела (находящегося при той же температуре) законом Кирхгофа:

$$\mathcal{E} = \frac{E}{A}.$$

• Полная лучеиспускательная способность (энергетическая светимость) абсолютно черного тела определяется по закону Стефана – Больцмана:

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

где  $T$  – температура тела по термодинамической шкале;

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}^4} - \text{постоянная Стефана-Больцмана.}$$

- Длина волны  $\lambda_m$ , на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела (т.е. максимум спектральной плотности энергетической светимости), выражается законом Вина:

$$\lambda_m T = b,$$

где  $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  – постоянная Вина.

- Энергия  $\varepsilon$  кванта света (фотона) связана с частотой и длиной волны  $\lambda$  соотношениями:

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

где  $c$  – скорость света в вакууме;  $h$  – постоянная Планка.

- Масса фотона:  $m = \frac{h\nu}{c^2}.$

- Световое давление:  $p = \frac{W}{c}(1 + \chi),$

где  $W$  – количество лучистой энергии, падающей в единицу времени на единичную площадку, расположенную перпендикулярно лучам;  $\chi$  – коэффициент отражения площадки (при полном отражении света  $\chi = 1$ , при полном поглощении  $\chi = 0$ ).

- Изменение длины волны рентгеновского фотона при его столкновении с электроном (эффект Комптона):

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2,42 \cdot (1 - \cos\theta) \cdot 10^{-3},$$

где  $\lambda_0$  и  $\lambda$  – длины падающего и рассеянного фотона, нм;  $\theta$  – угол рассеяния, т.е. угол между направлениями движения фотона до и после столкновения с электроном.

- Энергия фотона, вызывающего внешний фотоэффект, связана с максимальной кинетической энергией вылетевшего электрона уравнением Эйнштейна:

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

где  $h$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота падающего света;  $m$  – масса электрона;  $v$  – скорость электрона;  $A$  – работа выхода электрона из металла.

- Красная граница фотоэффекта, т.е. частота  $\nu_0$  (или длина волны  $\lambda_0$ ), при которой начинается фотоэффект, определяется из соотношения

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

## 2. физика атома

- Момент количества движения (импульса) электрона в атоме на стационарной орбите:

$$mvr = \frac{nh}{2\pi},$$

где  $m$  – масса электрона;  $v$  – его линейная скорость;  $r$  – радиус орбиты;  $n$  – главное квантовое число;  $h$  – постоянная Планка.

- Радиус стационарной орбиты атома водорода:

$$r = \frac{n^2 \varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2},$$

где  $e$  – заряд электрона;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная.

- Кинетическая, потенциальная и полная энергии электрона на орбите соответственно равны

$$W_k = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{e^4 m}{8e_0^2 h^2};$$

$$W_n = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{e^4 m}{4e_0^2 h^2};$$

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{e^4 m}{8e_0^2 h^2}.$$

- Частота излучения водорода:

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

где  $R = 3,28985 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  – постоянная Ридберга;  $m$  – номер орбиты, на которую переходит электрон;  $n$  – номер орбиты, с которой переходит электрон.

- Частота излучения водородоподобного атома (иона):

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

где  $Z$  – атомный номер элемента.

- Коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра:

$$h\nu_0 = eU,$$

где  $\nu_0$  – частота, соответствующая коротковолновой границе;  $U$  – разность потенциалов, приложенная к рентгеновской трубке.

- Частота характеристического рентгеновского излучения:

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

где  $Z$  – порядковый номер элемента, из которого сделан антикатод;  $b$  – постоянная экранирования.

- Закон Мозли:

$$\sqrt{\nu} = aZ - b,$$

где  $a = \sqrt{R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)}$ ;  $b$  – постоянная экранирования.

- Закон радиоактивного распада:

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

где  $N_0$  – число атомов в начальный момент времени;  $N$  – число атомов, оставшихся по истечении времени  $t$ ;  $\lambda$  – постоянная распада.

- Период полураспада  $T$  связан с постоянной распада соотношением:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

- Среднее время жизни атома радиоактивного вещества:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = 1,44T.$$

- Активность элемента:

$$a = \frac{N \ln 2}{T},$$

где  $N$  – число атомов элемента.

- Дефект массы атомного ядра:

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

где  $m_p$  – масса протона;  $m_n$  – масса нейтрона;  $m_{\text{я}}$  – масса ядра;  $A$  – массовое число;  $Z$  – порядковый номер элемента.

- Энергия связи ядра:

$$E = \Delta m c^2,$$

где  $c$  – скорость света.

- Энергия связи, выраженная в мегаэлектронвольтах:

$$E = 931(m_p Z + m_n (A - Z) - m_{\text{я}}).$$

- Удельная энергия связи:

$$\varepsilon = \frac{E}{A}.$$

- Количество ядерной энергии  $\Delta E$ , связанное с каждым прореагировавшим ядром, равно разности между энергией связи  $E_2$  продукта реакции и энергией связи исходного ядерного материала  $E_1$ :

$$\Delta E = E_2 - E_1,$$

или

$$\Delta E = 931(m_2 - m_1),$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы атомов исходного материала и конечного продукта реакции. При  $\Delta E > 0$  ядерная энергия выделяется, при  $\Delta E < 0$  ядерная энергия поглощается.

## Примеры решения задач

**Задача № 1.** На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной  $\lambda = 480$  нм. Определить наибольший порядок спектра, полученный с помощью решетки, и максимальный угол отклонения лучей, если ее постоянная  $d = 2$  мкм.

### Решение

$$\lambda = 480 \text{ нм} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$
$$d = 2 \text{ мкм} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

---

$$1) k_{\max} - ? \quad 2) \alpha_{\max} - ?$$

1. Для определения числа максимумов дифракционной решетки примем во внимание, что максимальный угол отклонения лучей дифракционной решетки не может превышать  $90^\circ$ . Тогда из формулы  $d \sin \phi = k \lambda$  имеем:

$$k_{\max} = \frac{d \sin \phi_{\max}}{\lambda}.$$

Подставляя заданные величины, получим:

$$k_{\max} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{4,8 \cdot 10^{-7}} = 4,17.$$

Поскольку  $k$  обязательно должно быть целым числом, принимаем  $k_{\max} = 4$ .

2. Максимальный угол отклонения лучей, соответствующий последнему дифракционному максимуму:

$$\sin \phi_{\max} = \frac{k_{\max} \lambda}{d}.$$

Подставляя численные значения, получим:

$$\sin \phi_{\max} = \frac{4 \cdot 4,8 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-6}} = 0,96, \quad \phi_{\max} = 75^\circ 44'.$$

**Задача № 2.** Максимум спектральной плотности энергетической светимости поверхности Солнца приходится на длину  $\lambda_{\max} = 0,5$  мкм. Определить 1) температуру поверхности Солнца; 2) световое давление на земную поверхность. Коэффициент отражения принять равным 0,6.

### Решение

$$\lambda_{\max} = 0,5 \text{ мкм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$
$$\rho = 0,6$$
$$C' = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$
$$(\text{постоянная Вина})$$

---

$$1) T - ? \quad 2) p - ?$$

1. Приняв Солнце за черное тело, температуру поверхности Солнца определим по закону Вина:

$$T = \frac{C'}{\lambda_{\max}}; \quad (1)$$

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} = 5800 \text{ К}.$$

2. Полный поток излучения солнечной энергии, приходящейся на все длины волн:

$$\Phi = R_e \cdot S, \quad (2)$$

где  $R_e$  – энергетическая светимость черного тела по закону Стефана-Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $S$  – площадь Солнца:

$$S = 4\pi r^2, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус Солнца,  $r = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$ .

Полный поток излучения с учетом (3) и (4):

$$\Phi = \sigma T^4 \cdot 4\pi r^2 \quad (5)$$

$$\Phi = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (5800)^4 \cdot 4 \cdot 3,14 (6,95 \cdot 10^8)^2 = 4,5 \cdot 10^{26} \text{ Вт}.$$

3. Световое давление  $p$  определим по формуле

$$p = \frac{E_3}{c} (1 + \rho), \quad (6)$$

где  $E_3$  – плотность потока энергии у поверхности Земли:

$$E_3 = \frac{\Phi}{4\pi R^2}, \quad (7)$$

где  $R$  – среднее расстояние от Земли до Солнца.

Подставив (7) в (6), получим:

$$p = \frac{\Phi \cdot (1 + \rho)}{4\pi R^2 \cdot c}; \quad (8)$$

$$p = \frac{4,5 \cdot 10^{26} \cdot (1 + 0,6)}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,49 \cdot 10^{11})^2 \cdot 3 \cdot 10^8} = 8,55 \cdot 10^{-6} \text{ Па};$$

$$[p] = \frac{1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}}{1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Па}.$$

**Задача № 3.** Цезий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из цезия равна 1,89 эВ.

*Решение*

$$\lambda_{\max} = 400 \text{ нм} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$A = 1,89 \text{ эВ} = 1,89 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\varepsilon = \frac{mv^2}{2} + A \quad (1)$$

$$\frac{U_0 - ?}{\text{или}} \quad h \frac{c}{\lambda} = \frac{mv^2}{2} + A. \quad (1')$$

Для того чтобы ток прекратился, необходимо приложить задерживающее напряжение  $U_0$ , при котором

$$eU_0 = \frac{mv^2}{2}. \quad (2)$$

С учетом (2) уравнение (1) примет вид:

$$h \frac{c}{\lambda} = eU_0 + A.$$

Откуда

$$U_0 = \frac{hc / \lambda - A}{e}.$$

$$U_0 = \frac{\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - 3,0 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,1 \text{ В.}$$

**Задача № 4.** Определить длину волны и энергию фотона при переходе электрона в атоме водорода с четвертого энергетического уровня на второй (серия Бальмера).

*Решение*

$$m = 4$$

$$n = 2$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

При переходе электрона с отдаленной орбиты на внутреннюю происходит излучение энергии:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}, \quad (1)$$

где  $E$  – энергия фотона;  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света;  $\lambda$  – длина волны.

Величину, обратную длине волны, определим по формуле:

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

где  $R$  – постоянная Ридберга;  $m$  – номер орбиты, на которую переходит электрон;  $n$  – номер орбиты, с которой переходит электрон.

Подставив в (2) числовые значения, получим:

$$\bullet \frac{1}{\lambda} = 1,1 \cdot 10^7 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 2,06 \text{ м}^{-1};$$

$$\lambda = 4,85 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Подставив числовые значения в (1), получим:

$$\bullet E = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,85 \cdot 10^{-7}} = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

**Задача №5.** Радиоактивный натрий  ${}_{11}\text{N}^{24}$  распадается с выбросом  $\alpha$ -частиц. Период полураспада  $T$  равен 14,8 ч. Определить количество атомов, распавшихся в 1 г данного радиоактивного препарата за 10 ч.

### Решение

$$m = 1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$$

$$T = 14,8 \text{ ч}$$

Число радиоактивных атомов убывает со временем по закону:

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

$$\Delta N = ?$$

где  $N_0$  – число атомов в начальный момент времени;  $N$  – число атомов, оставшихся по истечении времени  $t$ ;  $\lambda$  – постоянная распада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}. \quad (2)$$

Число распавшихся атомов:

$$\Delta N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}). \quad (3)$$

Выразив  $\lambda$  через период полураспада  $T$ , преобразуем выражение  $e^{-\lambda t}$ :

$$e^{-\lambda t} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = \left( e^{\ln 2} \right)^{-\frac{t}{T}} = 2^{-\frac{t}{T}}.$$

С учетом преобразования, (3) примет вид:

$$\Delta N = N_0 \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (4)$$

$$\text{Определим } N_0. \text{ По определению, } N_0 = \frac{m N_A}{M}, \quad (5)$$

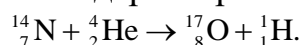
где  $N_A$  – число Авогадро,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ;  $M$  – молярная масса,  $M = 24 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

С учетом (5) имеем:

$$\Delta N = \frac{m N_A}{M} \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right); \quad (6)$$

$$\Delta N = \frac{10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{24 \cdot 10^{-3}} \left( 1 - 2^{-\frac{1}{2}} \right) = 7,5 \cdot 10^{21}.$$

**Задача №6.** Вычислить энергию ядерной реакции





Выделяется или поглощается эта энергия?

### Решение

Энергию ядерной реакции определим по формуле

$$\Delta W = 931 \cdot \Delta m, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  – изменение массы реакции, т.е. разность между массой частиц, вступивших в реакцию, и массой частиц, образовавшихся в результате реакции.

$$\Delta m = (m_{7\text{N}}^{14} + m_{2\text{He}}^4) \rightarrow (m_{8\text{O}}^{17} + m_{1\text{H}}^1) \quad (2)$$

По табл. 11 приложения находим массы этих частиц и вычисляем  $\Delta m$ :

$$\Delta m = (14,00307 + 4,00260) \rightarrow (17,00453 + 1,00783) = (18,00567 - 18,01236) = -0,00669 \text{ а.е.м.}$$

Тогда

$$\Delta W = 931 \cdot (-0,00669) = -6,24 \text{ МэВ}.$$

Энергия поглощается, т.к. масса исходных ядер меньше массы ядер, образовавшихся в ходе реакции.

## Задачи для контрольной работы

### Таблица выбора вариантов

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра															
	нечетная								четная							
0	1	20	39	58	77	96	115	134	10	30	49	68	87	106	125	144
1	2	21	40	59	78	97	116	135	11	25	50	69	88	107	126	145
2	3	22	41	60	79	98	117	136	12	31	47	70	89	108	127	146
3	4	23	42	61	80	99	118	137	13	32	51	68	90	109	128	147
4	5	24	43	62	81	100	119	138	14	33	52	71	83	110	129	148
5	6	25	44	63	82	101	120	139	15	34	53	72	91	102	130	149
6	7	26	45	64	83	102	121	140	16	35	54	73	92	111	131	142
7	8	27	46	65	84	103	122	141	17	36	55	74	93	112	123	150
8	10	28	47	66	85	104	123	142	18	37	56	75	94	113	132	143
9	9	29	48	67	86	105	124	143	19	38	57	76	95	114	133	140

1. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  (где  $C = 0,1 \text{ м/с}^2$ ,  $D = 0,03 \text{ м/с}^3$ ). Определить, через сколько времени после начала движения ускорение  $a$  тела будет  $2 \text{ м/с}^2$ .

2. Уравнения движения двух материальных точек имеют вид  $S_1 = t + 8t^2 - 3t^3$  и  $S_2 = t - 4t^2 + t^3$ . Определите момент времени, для которого ускорения этих точек будут равны.
3. Материальная точка массой 1 г движется по окружности радиусом 1 м согласно уравнению  $S = 8t - 0,2t^3$ . Определить скорость, тангенциальное ускорение, нормальное ускорение в момент времени  $t = 2$  с.
4. Движение двух тел описывается уравнениями  $S_1 = 0,75t^3 + 2,25t^2 + t$  и  $S_2 = 0,25t^3 + 3t^2 + 1,5t$ . Определить величину скоростей этих тел в момент времени, когда ускорения их будут одинаковы. Определить также значения ускорения в этот момент времени.
5. Колесо радиусом  $R=30$  см начинает вращаться с постоянным угловым ускорением  $\epsilon = 1,5$  рад/с<sup>2</sup>. Найти для точек на ободе колеса к концу первой секунды после начала движения: 1) угловую скорость; 2) линейную скорость; 3) тангенциальное ускорение; 4) нормальное ускорение; 5) полное ускорение.
6. Уравнение вращения твердого тела описывается уравнением  $\varphi = 3t^2 + t$ . Определить угловую скорость, угловое ускорение и частоту вращения тела через 10 с после начала движения.
7. Маховик вращается с постоянным угловым ускорением  $\epsilon = 150$  рад/с<sup>2</sup>. Определить угловую скорость маховика через  $N = 20$  полных оборотов. Начальная  $\omega_0 = 0$ .
8. Снаряд массой 10 кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имел скорость 300 м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, при этом большой осколок массой  $m = 7$  кг полетел в обратном направлении со скоростью  $V_1=120$  м/с. Определить скорость  $V_2$  второго осколка.
9. Орудие, жестко закрепленное на железнодорожной платформе, производит выстрел вдоль полотна железной дороги под углом  $\alpha = 30^\circ$  к линии горизонта. Определить скорость  $V_2$  отката платформы, если снаряд вылетел со скоростью 500 м/с. Масса платформы с орудием и снарядом  $m = 20$  т, а масса снаряда  $m_1 = 80$  кг.
10. Тело массой 100 кг поднимается по наклонной плоскости с углом у основания  $20^\circ$  под действием силы 800 Н и направленной параллельно плоскости. С каким ускорением будет двигаться тело, если коэффициент трения тела о плоскость равен  $k = 0,1$ .
11. К нити подвешен груз массой  $m = 500$  г. Определить силу натянутой нити, если нить с грузом: 1) поднимать с ускорением  $2$  м/с<sup>2</sup>; 2) опускать с ускорением  $2$  м/с<sup>2</sup>.

12. Движение тела массой 0,5 кг задано уравнением  $S = 2 + 3t + 6t^3$  ( $S$  в метрах,  $t$  в секундах). Определить силы, действующие на тело в конце второй и пятой секунд.
13. Определить скорость  $V$ , угловую скорость  $\omega$  и центростремительное ускорение  $\alpha_{ц.с}$  для движущейся Земли вокруг Солнца. Расстояние между ними  $r = 1,5 \cdot 10^{11}$  м.
14. Велосипедист массой 70 кг движется со скоростью 10 м/с по выпуклому мосту радиусом 25 м. Определить силу упругости, действующую на велосипедиста в верхней точке моста.
15. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите на высоте  $h = 500$  км. Определить скорость его движения.
16. Молотильный барабан вращается с частотой, соответствующей 900 об/мин. Под действием постоянного тормозного момента  $M_T = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$  барабан останавливается в течение 2,5 мин. Определить момент инерции барабана.
17. Маховик массой 50 кг и радиусом  $r = 30$  см был раскручен до частоты вращения 600 об/мин и затем предоставлен самому себе. Под влиянием трения он остановился через 1 мин. Определить момент силы трения.
18. Тонкостенный цилиндр с диаметром основания  $d = 30$  см и массой 2 кг вращается согласно уравнению  $\varphi = 4 - 2t + 0,2t^3$ . Определить действующий на цилиндр момент сил спустя 3 с после начала движения.
19. Тело массой 10 кг поднимается с ускорением  $\alpha = 2 \text{ м/с}^2$ . Определить работу силы, совершённую за первые 5 мин подъёма.
20. Автомобиль массой  $m = 3000$  кг останавливается за  $t = 6$  с, пройдя расстояние  $S = 24$  м. Определить: 1) начальную скорость автомобиля; 2) силу торможения.
21. Диск массой  $m = 2$  кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 3 м/с. Определить кинетическую энергию диска.
22. Тело массой  $m = 5$  кг падает с высоты  $h = 10$  м. Определить суммарную потенциальную и кинетическую энергию тела в точке, находящейся от поверхности Земли на высоте  $h_1 = 5$  м.
23. Определить скорость поступательного движения сплошного цилиндра, скатывающегося с наклонной плоскости высотой  $h = 1$  м.
24. Шар массой 1 кг и диаметром 10 см катится без скольжения по горизонтальной плоскости, делая 6 об/с. Определить кинетическую энергию шара.

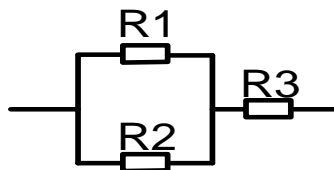
25. Тело массой 1 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно по закону  $S = 2t^2 + 8t$ . Определить его кинетическую энергию через 10 с.
26. Определить скорость поступательного движения сплошного цилиндра, скатившегося с наклонной плоскости высотой  $h = 1$  м.
27. Насос мощностью  $N = 2$  кВт поднимает воду на высоту  $h = 16$  м. Определить массу жидкости, поднятой за время  $t = 30$  с, если КПД насоса  $\eta = 0,8$ .
28. Автомобиль на горизонтальном участке дороги развивает скорость  $V = 144$  км/ч. Определить тяговое усилие автомобиля, если мощность двигателя 70 л.с.
29. Автомобиль массой  $m = 3$  т двигался в гору с углом у основания  $10^\circ$ . Определить: 1) работу, совершаемую двигателем автомобиля на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1; 2) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был пройден за 8 мин.
30. Трактор с сельскохозяйственной машиной испытывает тяговое сопротивление 32,5 кН. При работе трактор развил скорость 4,5 км/ч. Определить работу, совершаемую им за 8 ч.
31. Платформа в виде диска радиусом 1,2 м вращается по инерции, делая 6 об/мин. На краю платформы стоит человек массой 75 кг. Определить частоту вращения платформы, если человек перейдет в её центр. Момент инерции платформы  $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Момент инерции человека на краю платформы рассчитать как для материальной точки.
32. Материальная точка массой  $m=10$  г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \pi/4)$  м. Определить полную энергию этой точки.
33. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см и периодом  $T = 5$  с. Определить для точки: 1) максимальную скорость; 2) максимальное ускорение.
34. Определить период колебаний  $T$  стержня длиной 0,5 м относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец.
35. Определить число  $N$  атомов в 1 кг азота и массу одного атома азота.
36. Чему равна плотность водорода при температуре  $27^\circ \text{C}$  и давлении  $10^6 \text{ Па}$ ?
37. В сосуде объёмом  $V = 4$  л находится 18 г газа при температуре  $27^\circ \text{C}$ . После нагревания газа при постоянном давлении ( $P = \text{const}$ ) его плотность стала  $0,9 \text{ кг/м}^3$ . Определить, до какой температуры нагрели газ.
38. При температуре  $7^\circ \text{C}$  и давлении  $P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$  плотность газа  $0,005 \text{ г/см}^3$ . Определить молярную массу газа.

39. В закрытом сосуде емкостью 10 л находится водород массой 8 г и гелий массой 10 г. Определить давление смеси газов, если температура смеси  $27^{\circ}\text{C}$ .
40. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа, плотность которого при давлении  $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$  равна  $\rho = 6 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$ .
41. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle U_{\text{кв}} \rangle$  молекул газа, заключенного в сосуде объемом  $V = 4 \text{ л}$  под давлением  $P = 200 \text{ кПа}$ . Масса газа 0,6 г.
42. Под каким давлением находится кислород, если средняя арифметическая скорость его молекул 550 м/с, а их концентрация  $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ?
43. Найти число молекул водорода в  $1 \text{ м}^3$ , если давление  $P = 4 \text{ атм}$ , а средняя квадратичная скорость молекул равна 1800 м/с.
44. Найти молярные и удельные теплоёмкости аргона при постоянном давлении и постоянном объёме.
45. Найти удельные теплоёмкости кислорода и их отношение.
46. Определить молярные и удельные теплоёмкости азота.
47. При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна  $4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ?
48. Определить среднюю кинетическую энергию поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг водорода при температуре  $127^{\circ}\text{C}$ .
49. Воздух массой 100 кг нагревается от  $10^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение внутренней энергии воздуха. Молярную массу воздуха следует принять за  $2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$ , а воздух считать многоатомным газом.
50. Кислород массой 160 г нагревается при постоянном давлении ( $P = \text{const}$ ) от 300 до  $320^{\circ}\text{K}$ . Определить: 1) количество теплоты, поглощенное газом; 2) изменение внутренней энергии.
51. Газ в объёме 10 л, находящийся под давлением 3 атм, изотермически расширился до объёма 30 л. Определить работу расширения газа.
52. Кислород массой 160 г нагрели при постоянном давлении ( $P = \text{const}$ ) от  $37^{\circ}\text{C}$  до  $57^{\circ}\text{C}$ . Определить работу по расширению газа.
53. Определить среднюю длину свободного пробега  $\langle e \rangle$  молекул кислорода при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Диаметр молекулы кислорода  $d = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

54. В сосуде с воздухом давление  $P = 0,13$  Па, а температура 300 К. Определить плотность воздуха в сосуде и среднюю длину свободного пробега молекул. Диаметр молекул воздуха принять  $d = 2,7 \cdot 10^{-10}$  м.
55. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода равна 0,5 см, если температура газа  $27^\circ \text{C}$ ? Диаметр молекулы водорода принимают равным  $2,8 \cdot 10^{-10}$  м.
56. Кислород находится под давлением  $P = 1,4 \cdot 10^{-5}$  Па при температуре  $T = 300$  К. Вычислить среднее число столкновений  $\langle z \rangle$  в единицу времени молекул кислорода при этих условиях. Эффективный диаметр молекулы кислорода  $d = 2,7 \cdot 10^{-10}$  м.
57. Совершая цикл Карно, газ получил от нагревателя теплоту 1000 Дж. Температура нагревателя при этом оказалась в 1,2 раза больше температуры охладителя. Определить работу, совершенную газом.
58. Совершая цикл Карно, газ получил от нагревателя теплоту  $Q_1 = 1$  кДж и совершил работу  $A = 200$  Дж. Определить температуру охладителя, если температура нагревателя  $T_1 = 380$  К.
59. Совершая цикл Карно, газ отдал охладителю  $Q_2 = 4900$  Дж. Работа газа за цикл  $A = 900$  Дж. Определить температуру нагревателя, если температура охладителя  $7^\circ \text{C}$ .
60. Газ, совершающий цикл Карно, 80 % теплоты, полученной от нагревателя, отдаёт холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определить коэффициент полезного действия цикла и работу, совершаемую за один цикл.
61. Наружная поверхность парниковой бетонной стены имеет температуру  $t_1 = -10^\circ \text{C}$ , а внутренняя  $t_2 = 20^\circ \text{C}$ . Толщина стены 25 см. Какое количество теплоты проходит через  $1 \text{ м}^2$  поверхности за 1 ч? Коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda = 0,817$  Дж/м·с·К.
62. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях  $\langle L \rangle = 1,8 \cdot 10^{-5}$  см. Определить коэффициент диффузии гелия.
63. Найти коэффициент внутреннего трения при нормальных условиях, если коэффициент диффузии азота при этих условиях  $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .
64. Определить массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку  $50 \text{ см}^2$  за 20 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен  $1 \text{ кг/м}^4$ . Температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега молекул 1 мкм.
65. Какой наибольшей скорости может достичь дождевая капля диаметром  $d = 0,3$  мм, если коэффициент внутреннего трения воздуха равен  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/см} \cdot \text{с}$ . Считать, что для дождевой капли применим закон Стокса.

66. Глицерин поднялся в капиллярной трубке на высоту  $h = 20$  мм. Определить коэффициент поверхностного натяжения глицерина, если диаметр капилляра трубки  $d = 1$  мм.
67. В стебле пшеницы вода по капиллярам поднимается на высоту 1 м. Определить средний диаметр капилляров. Коэффициент поверхностного натяжения воды (взять из справочных таблиц).
68. В капиллярах песчаных почв вода поднимается на высоту  $h = 1,5$  м. Температура воды  $T = 18^\circ \text{C}$ , а её плотность  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Определить диаметр почвенных капилляров. Смачивание считать полным.
69. Определить средний диаметр капилляра почвы, если вода поднимается в ней на высоту  $h = 60$  мм. Смачивание стенок считать полным.
70. На какую высоту поднимется вода в стеклянном капилляре радиусом 0,001 см, если коэффициент поверхностного натяжения воды равен  $70 \text{ н/м}$ ?
71. Вертикальный стеклянный капилляр погружен в воду. Определить радиус кривизны мениска, если высота столба воды в трубке  $h = 30$  мм. Плотность воды  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ , а коэффициент поверхностного натяжения  $\alpha = 72 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$ .
72. На двух одинаковых капельках воды находится по 10 отрицательных зарядов. Определить массу капельки, если электрическая сила отталкивания капелек уравнивает силу их взаимного тяготения.
73. Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 22,36 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. Определить, на каком расстоянии их нужно поместить в масло, чтобы получить эту же силу взаимодействия. Диэлектрическая проницаемость масла  $\epsilon = 5$ .
74. Два точечных заряда по  $10^{-8} \text{ Кл}$  каждый расположены на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 10 см от каждого заряда.
75. Расстояние между зарядами  $Q_1 = +2 \text{ нКл}$  и  $Q_2 = -2 \text{ нКл}$  равно 10 см. Определить напряженность поля, созданного зарядами в точке А, находящейся на расстоянии  $L_1 = 6 \text{ см}$  от положительного заряда и на расстоянии  $L_2 = 8 \text{ см}$  от отрицательного заряда.
76. Два точечных заряда  $Q_1 = 4 \text{ нКл}$  и  $Q_2 = -3 \text{ нКл}$  находятся на расстоянии 50 см друг от друга. Определить напряженность  $E$  поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Определить также напряженность в этой точке, если второй заряд будет положительным.
77. Расстояние между двумя точечными зарядами  $Q_1 = 2 \text{ нКл}$  и  $Q_2 = 5 \text{ нКл}$  равно 10 см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля зарядов равна 0?

78. Свинцовый шарик ( $\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$ ) диаметром 0,5 см помещен в глицерин ( $\rho_1 = 1,26 \text{ г/см}^3$ ). Определить заряд шарика, если в однородном электрическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине, электрическое поле направлено вверх и его напряженность  $E = 4 \text{ кВ/см}$ .
79. Отрицательно заряженная пылинка находится в равновесии между двумя пластинами конденсатора, расположенного горизонтально. Расстояние между пластинами 3 см, разность потенциалов 306 В. Масса пылинки  $m = 2 \cdot 10^{-15} \text{ кг}$ . Сколько электронов несет на себе пылинка?
80. Пылинка массой  $10^{-9} \text{ г}$ , несущая на себе 5 электронов прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов  $3 \cdot 10^6 \text{ В}$ . Какова кинетическая энергия пылинки и какую скорость она приобрела?
81. Определить расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов  $U = 200 \text{ В}$ . Площадь пластин  $S = 100 \text{ см}^2$ , заряд пластины  $Q = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ , диэлектрическая проницаемость  $E = 7$ .
82. Во сколько раз общая емкость двух конденсаторов  $C_1 = 5 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 10 \text{ мкФ}$ , соединенных параллельно, больше ёмкости этих конденсаторов, соединенных последовательно?
83. Шарик радиусом  $r = 4 \text{ см}$  заряжается отрицательным зарядом, до потенциала  $\varphi = 100 \text{ В}$ . Определить число электронов, составляющих заряд шарика.
84. Три проводника, соединены по схеме. Напряжение между точками  $A$  и  $B$  равно  $U = 36 \text{ В}$ . Определить общее сопротивление цепи и тока, протекающего через  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 2,6 \text{ Ом}$ .



85. Определить внутреннее сопротивление  $r$  источника тока и ЭДС, если при внешнем сопротивлении  $R_1 = 50 \text{ Ом}$  ток в цепи  $J_1 = 0,02 \text{ А}$ , а при  $R_2 = 100 \text{ Ом}$ , ток  $J_2 = 0,012 \text{ А}$ .
86. Два источника тока с одинаковыми ЭДС и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,6 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 0,8 \text{ Ом}$  соединены параллельно и включены во внешнюю цепь, сопротивление которой  $R = 1,57 \text{ Ом}$ . Определить силу тока в цепи.
87. Определить напряжение на выходе источника постоянного тока с ЭДС  $= 12 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $1 \text{ Ом}$  при параллельном подключении двух проводников с электрическим сопротивлением  $16 \text{ Ом}$ .



88. ЭДС аккумулятора автомобиля  $E = 12$  В. При силе тока  $2$  А КПД равен  $0,7$ . Определить внутреннее сопротивление аккумулятора.
89. Внутреннее сопротивление аккумулятора  $1$  Ом. При силе тока  $J = 0,5$  А его КПД равен  $0,8$ . Определить ЭДС аккумулятора.
90. Какой длины нужно взять никелиновую проволоку сечением  $S = 0,1$  мм<sup>2</sup> для устройства кипятильника, в котором за время  $t = 60$  с можно вскипятить воду объемом  $V = 1$  л, взятую при температуре  $t = 10^\circ$  С. Напряжение в сети  $U = 220$  В, КПД кипятильника  $\eta = 0,93$ . Удельная теплоёмкость воды  $C = 4,2 \cdot 10^3$  Дж /кг·К.
91. Сколько времени потребуется для нагревания воды массой  $1$  кг от начальной температуры  $20^\circ$ С до кипячения, в электрическом чайнике с нагревателем, мощностью  $1,5$  кВт, если его КПД равен  $95\%$ ? Какова сила тока в электрической спирали, если напряжение сети  $U = 220$  В.
92. При электролизе медного корпуса за  $1$  ч выделилось  $0,5$  г меди. Площадь электродов, опущенных в электролит, равна  $75$  см<sup>2</sup>. Найти плотность тока.
93. Рассчитать массу алюминия, выделившегося за  $8$  ч при силе тока  $10$  А. Молярная масса алюминия  $M = 27 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, валентность  $3$ .
94. По прямому бесконечно длинному проводу течет ток  $5$  А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в точках, удалённых от провода: 1) на  $20$  см; 2) на  $50$  см.
95. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, находящимся на расстоянии  $r = 20$  см друг от друга в вакууме текут токи  $J_1 = 10$  А и  $J_2 = 20$  А одинакового направления. Определить магнитную индукцию  $B$  поля:
- 1) в точке, лежащей посередине между проводами;
  - 2) в точке, лежащей правее правого провода на  $5$  см.
96. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводам, находящимся на расстоянии  $r = 20$  см друг от друга, текут токи  $J_1 = 20$  А и  $J_2 = 30$  А. Определить индукцию магнитного поля в точке, лежащей посередине между проводами в случаях:
- 1) токи текут в одном направлении;
  - 2) токи текут в противоположных направлениях.
97. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводам текут токи  $J_1 = 3$  А и  $J_2 = 6$  А. Расстояние между проводами  $18$  см. Найти на прямой, соединяющей эти провода, точку, в которой индукция магнитного поля равна нулю.

98. Катушка длиной 50 см состоит из 1000 витков. Определить напряженность и индукцию магнитного поля внутри катушки, если по ней пропустить ток  $J = 2 \text{ А}$ .
99. Соленоид длиной 50 см и сопротивлением  $R = 12 \text{ Ом}$  содержит  $N = 500$  витков. Определить индукцию магнитного поля соленоида, если разность потенциалов на концах его обмотки  $U = 24 \text{ В}$ .
100. В центре проволочного кольца радиусом  $r = 30 \text{ см}$  индукция магнитного поля  $B = 6,28 \text{ Гн}$ . Определите разность потенциалов на концах кольца, если его сопротивление  $R = 6 \text{ Ом}$ .
101. Проволочное кольцо сопротивлением  $R = 1,25 \text{ Ом}$  включено в электрическую цепь так, что разность потенциалов на кольцах  $U = 24 \text{ В}$ , индукция магнитного поля в центре кольца  $B = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$ . Определить радиус кольца.
102. Определить длину провода, из которого изготовлен соленоид диаметром  $d = 0,08 \text{ м}$  и длиной  $l = 0,5 \text{ м}$ , если напряженность магнитного поля внутри соленоида  $H = 2 \cdot 10^4 \text{ А/м}$  и по нему течет ток 2 А.
103. Луч света, проходя слой стекла, падает на алмазную пластинку, частично отражается, частично преломляется. Определить, каким должен быть угол падения, чтобы отраженный луч был максимально поляризован. Показатели преломления стекла и алмаза принять соответственно  $n = 1,31$  и  $n = 2,42$ .
104. Определить, во сколько раз уменьшается интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, плоскости поляризации которых составляют угол 45 градусов. Каждый николь поглощает 8 % света, падающего на него.
105. Во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света при прохождении его через два николя, плоскости, поляризации которых составляют 60 градусов.
106. Определить угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор уменьшалась в 4 раза.
107. Солнечные лучи приносят в 1 с на поверхность  $1 \text{ м}^2$  почвы энергию  $6,9 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$ . Какова должна быть температура почвы, чтобы она излучала такую же энергию обратно в мировое пространство?
108. Принимая Солнце за черное тело с температурой на поверхности 5800 К, определить: 1) энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 1 ч; 2) массу, теряемую за это время за счет излучения.
109. Абсолютно черное тело было нагрето от  $127^\circ \text{ С}$  до  $327^\circ \text{ С}$ . Определить, во сколько раз изменилась мощность суммарного излучения при этом.

110. Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности черного тела температуре  $37^{\circ}\text{C}$  и энергетическую светимость тела.
111. Принимая Солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной плотности энергетической светимости соответствует длина волны  $500\text{ нм}$ , определить: 1) температуру поверхности Солнца; 2) энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за  $1\text{ мин}$ .
112. Энергетическая светимость черного тела  $R_e = 10\text{ кВт/м}^2$ . Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости.
113. Пучок параллельных лучей света падает нормально на плоскую зеркальную поверхность. Определить силу давления, испытываемую этой поверхностью, если её площадь  $2\text{ м}^2$  и энергетическая освещенность поверхности  $0,6\text{ Вт/м}^2$ .
114. На поверхность площадью  $100\text{ см}^2$  ежеминутно падает  $60\text{ Дж}$  световой энергии. Определить величину светового давления в случаях, когда поверхность: 1) полностью отражает все лучи; 2) полностью получает все падающие на неё лучи.
115. Фотоактивирование семян производят излучением гелий-неоновым лазером мощностью  $25\text{ мВт}$ . Какое количество фотонов падает на поверхность семян в  $1\text{ мин}$ ? Длина волны излучений  $\lambda = 630\text{ нм}$ .
116. Определить энергию, массу и импульс фотона, длина волны которого  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}\text{ см}$ .
117. Для фотокатода, выполненного из вольфрама, работа выхода равна  $4,5\text{ эВ}$ . Определить, при какой максимальной длине волны происходит фотоэффект.
118. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла  $275\text{ нм}$ . Определить: 1) работу выхода электрона из металла; 2) максимальную кинетическую энергию вырванных электронов под действием света длиной волны  $180\text{ нм}$ .
119. Определить энергию одного фотона для красного света ( $\lambda = 600\text{ нм}$ ). Определить также температуру, при которой средняя энергия теплового движения молекул равна энергии найденного фотона.
120. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении напряжения  $U = 4,2\text{ В}$ .
121. Определить массу и импульс фотона, соответствующие переходу электрона с третьей орбиты на вторую.
122. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить длину и частоту волны.

123. Какую минимальную энергию необходимо сообщить электрону в атоме водорода, чтобы перевести его из основного состояния во второе возбужденное?
124. Кинетическая энергия электрона равна 1 кэВ. Определить длину волны де Бройля.
125. Определить энергию связи ядра изотопа  ${}^7_3\text{Li}$ .
126. Определить энергию связи ядра дейтерия  ${}^2_1\text{H}$ .
127. Определить энергию связи атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ .
128. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}^2_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ .
129. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$ .
130. Вычислить энергию, поглощенную при реакции  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O}$ .
131. Вычислить энергию, освобождающуюся при ядерной реакции  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ .
132. Вычислить энергию, освобождающуюся при ядерной реакции  ${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$
133. Определить удельную энергию связи, приходящейся на один нуклон в ядре  ${}^{14}_7\text{N}$ .
134. Определить дефект массы, полную и удельную энергию связи ядра изотопа кислорода  ${}^{16}_8\text{O}$ .
135. Определить дефект массы, полную и удельную энергию связи ядра изотопа кальция  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ .
136. Поглощается или выделяется энергия при ядерной реакции  ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$ ?
137. Пройдя ускоренную разность потенциалов 3,52 кВ, электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Индукция поля 0,01 Тл, радиус траектории 2 см. Определить удельный заряд электрона (отношение заряда к его массе).
138. Протон движения в магнитном поле напряженностью  $10^5$  А/м по окружности радиусом 2 см. Определите кинетическую энергию протона.
139. В однородном магнитном поле  $B = 0,4$  Тл, равномерно с частотой 600 об/мин вращается рамка, содержащая  $N = 1000$  витков, плотно прилегающих друг к

другу. Площадь рамки  $S = 100 \text{ см}^2$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную ЭДС, возникающую в рамке.

140. По катушке, индуктивность которой  $L = 5 \text{ мГн}$ , течет ток  $J = 2 \text{ А}$ , при выключении тока он изменяется практически до нуля за время  $t = 4 \text{ с}$ . Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре.
141. По длинному соленоиду с немагнитным сердечником сечением  $S = 50 \text{ см}^2$ , содержащему  $N = 1200$  витков, течет ток силой  $J = 2 \text{ А}$ , индукция магнитного поля в центре соленоида  $B = 100 \text{ мТл}$ . Определить индуктивность соленоида.
142. По соленоиду длиной  $0,3 \text{ м}$ , имеющему  $500$  витков, течет ток  $J = 1 \text{ А}$ . Площадь поперечного сечения  $18 \text{ см}^2$ . Определить энергию магнитного поля соленоида.
143. Катушка длиной  $L = 40 \text{ см}$  и диаметром  $6 \text{ см}$  содержит  $200$  витков. По катушке течет ток  $J = 1,5 \text{ А}$ . Определить индуктивность катушки.
144. Площадь пластин плоского конденсатора  $S = 1,2 \text{ см}^2$ , расстояние между пластинами  $d = 2,5 \text{ мм}$ . При разряде конденсатора выделилась энергия  $1,2 \text{ мкДж}$ . Определить, до какой разности потенциалов был заряжен конденсатор.
145. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 4 \text{ мГн}$  и плоского воздушного конденсатора. Площадь пластин конденсатора  $S = 10 \text{ см}^2$ , расстояние между ними  $d = 1 \text{ мм}$ . Определить период колебаний в контуре.
146. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 62,5 \text{ пФ}$  и катушки индуктивности  $L = 4 \text{ мГн}$ . На какую длину волны настроен контур?
147. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 200 \text{ пФ}$  и катушки индуктивности  $L = 0,5 \text{ мГн}$  (без сердечника). Определить период собственных электромагнитных колебаний контура.
148. Какую индуктивность нужно включить в колебательный контур, чтобы при емкости  $2 \text{ мкФ}$  получить звуковую частоту  $1000 \text{ с}^{-1}$ . Сопротивлением контура можно пренебречь.
149. Луч света падает из воздуха в воду под углом  $60^\circ$  градусов. Найти угол между отраженным и преломленным лучами.
150. Определить предельный угол внутреннего отражения для поверхностей раздела: 1) стекло – вода; 2) стекло – воздух. Показатели преломления стекла и воды принять соответственно  $1,5$  и  $1,33$ .
151. Вычислить длину волны зеленого света в стекле, если его длина волны в воздухе  $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ . Показатели преломления стекла принять  $1,5$ .

152. В помещении подвешен светильник из молочного стекла, имеющий форму шара диаметром 20 см. Определить световой поток и светимость светильника, если сила света светильника  $J = 80$  кд.
153. При выращивании ранней капусты выбирается площадка квадратной формы со стороной 1,2 м. Над центром площадки на высоте 2,2 м подвешивается лампа силой света 400 кд. Определите максимальную и минимальную освещенности площадки.
154. Какую минимальную силу света должна иметь лампа, подвешенная на высоте 2 м от поверхности рабочего стола, чтобы освещенность была 40 лк? Какой световой поток будет давать эта лампа?
155. Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решетки, если углу 30 градусов соответствует максимум четвертого порядка для монохроматического света с длиной волны 0,4 мкм.
156. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре второго порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм.
157. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 100 кВ, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции. Определите радиус траектории электрона, если индукция поля равна 0,01 Тл.
158. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет, период решетки  $d = 2$  мкм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который дает эта решетка в случае красного ( $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  м) и в случае фиолетового ( $\lambda = 4,1 \cdot 10^{-7}$  м) света.
159. Сколько штрихов на 1 мм должна иметь дифракционная решетка, чтобы углу 90 градусов соответствовал максимум пятого порядка для света с длиной волны 500 нм?
160. Колебательный контур состоит из двух одинаковых конденсаторов, включенных последовательно, и катушки индуктивности. Период колебаний контура 50 мкс. Определить, чему будет равен период колебаний контура, если конденсаторы включить параллельно.
161. Средняя длина свободного пробега молекул углекислого газа при нормальных условиях равна  $\langle L \rangle = 4 \cdot 10^{-6}$  см. Определить среднюю арифметическую скорость молекул и число столкновений в единицу времени.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1. Основные физические понятия (значения округленные)

Физические понятия	Обозначение	Числовые значения
Ускорение свободного падения	$g$	$9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R$	$8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Заряд электрона, протона	$e$	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m_e$	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ Кл}$
Масса протона	$m_p$	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Фарадея	$F$	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл}/(\text{кг} \cdot \text{моль})$
Скорость света в вакууме	$c$	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина	$C$	$2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h$	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	$R$	$1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Молярный объем газа при нормальных условиях	$V_m$	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0$	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

### 2. Некоторые астрономические величины

Наименование величины	Числовые значения
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$

Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м

### 3. Плотность жидкостей при 20°C, кг/м³

Вода.....	$10^3$	Касторовое масло.....	$9,6 \cdot 10^2$
Ртуть.....	$1,36 \cdot 10^4$	Спирт.....	$8,0 \cdot 10^2$
Глицерин.....	$1,26 \cdot 10^3$		

### 4. Удельная (массовая) теплота сгорания топлива, $10^7$ Дж/кг

Бензин.....	4,6	Керосин.....	4,6	Спирт.....	2,9
-------------	-----	--------------	-----	------------	-----

### 5. Молярная масса и относительная молекулярная масса газов

Газ	Молярная масса $M$ , $10^{-3}$ кг/моль	Относительная молекулярная масса, $M_r$
Азот	28	28
Водород	2	2
Воздух	29	29
Гелий	4	4
Кислород	32	32
Углекислый газ	44	44

### 6. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей при 20°C, $10^{-2}$ Н/м

Вода.....	7,2	Мыльная вода.....	4,0	Спирт.....	2,2
-----------	-----	-------------------	-----	------------	-----

### 7. Теплопроводность, Дж/(м·с·К)

Бетон.....	0,817	Песок.....	0,671
Кирпич.....	0,71	Почва (суглинок).....	1,01

### 8. Удельное сопротивление веществ, $10^{-8}$ Ом·м

Алюминий.....	2,8	Медь.....	1,7
Графит.....	39,0	Никелин.....	40,0
Железо.....	11,0	Нихром.....	100,0
Константан.....	50,0		

### 9. Диэлектрическая проницаемость

Вода.....	81	Воздух.....	1,000
Керосин.....	2	Парафин.....	2
Слюда.....	7	Стекло.....	6
Фарфор.....	5	Эбонит.....	3



### 10. Работа выхода электронов из металла, эВ

Вольфрам.....	4,5
Платина.....	6,3
Цезий.....	1,8
Цинк.....	4,0

### 11. Масса нейтральных атомов некоторых изотопов, а.е.м.

Электрон $e$	0,00055	Углерод $^{12}\text{C}_6$	12,0000
Протон $p$	1,00728	Углерод $^{14}\text{C}_6$	14,00324
Нейтрон $n$	1,00867	Азот $^{13}\text{N}_7$	13,00574
Водород $^1\text{H}_1$	1,00783	Азот $^{14}\text{N}_7$	14,00307
Водород $^2\text{H}_1$	2,01410	Кислород $^{16}\text{O}_8$	15,99491
Водород $^3\text{H}_1$	3,01605	Кислород $^{17}\text{O}_8$	17,00453
Гелий $^3\text{He}_2$	3,01603	Фосфор $^{32}\text{P}_{15}$	32,02609
Гелий $^4\text{He}_2$	4,00260	Сера $^{32}\text{S}_{16}$	32,02793
Литий $^6\text{Li}_3$	6,01513	Кальций $^{40}\text{Ca}_{20}$	39,96263
Литий $^7\text{Li}_3$	7,01601	Золото $^{197}\text{Au}_{79}$	197,03346
Бериллий $^9\text{Be}_4$	9,01219	Уран $^{235}\text{U}_{92}$	235,04392
Бор $^{10}\text{B}_5$	10,01294		
Бор $^{11}\text{B}_5$	11,00930		

### 12. Основные и дополнительные единицы Международной системы единиц

№ п\п	Наименование величины	Наименование единицы	Обозначение единицы
<b>Основные единицы</b>			
1	Длина	метр	м
2	Масса	килограмм	кг
3	Время	секунда	с
4	Сила электрического тока	ампер	А
5	Термодинамическая температура	кельвин	К
6	Сила света	кандела	кд
7	Количество вещества	моль	моль
<b>Дополнительные единицы</b>			
8	Плоский угол	радиан	рад
9	Телесный угол	стерадиан	ср

### 13. Важнейшие производные единиц СИ

Наименование величины	Наименование единицы	Обозначение единицы
Частота	герц	Гц
1	2	3
Частота вращения	секунда в минус первой степени	$c^{-1}$
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с
1	2	3
Угловое ускорение	радиан в секунду в квадрате	рад/с <sup>2</sup>
Момент инерции	килограмм-метр в квадрате	Кг·м <sup>2</sup>
Импульс (количество движения)	килограмм-метр в секунду	Кг·м/с
Момент импульса (момент количества движения)	килограмм-метр в квадрате на секунду	Кг·м <sup>2</sup> /с
Момент силы, момент пары сил	ньютон-метр	Н·м
Импульс силы	ньютон-секунда	Н·с
Давление	паскаль	Па
Напряжение (механическое)	паскаль	Па
Работа, энергия	джоуль	Дж
Электромагнитная энергия	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Температура Кельвина	кельвин	К
Теплота	джоуль	Дж
Теплоемкость	джоуль на кельвин	Дж/К
Удельная теплоемкость	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)
Вязкость (динамическая)	ньютон-секунда на квадратный метр	Н·с/м <sup>2</sup>
Электрический заряд (количество электричества)	кулон	Кл
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м
Потенциал, напряжение, ЭДС	вольт	В
Момент электрического диполя	кулон-метр	Кл·м
Электрическая емкость	фарад	Ф
Сопротивление электрическое	ом	Ом
Удельное сопротивление	ом - метр	Ом·м
Удельная проводимость	сименс на метр	См/м

Магнитная индукция	тесла	Тл
Магнитный поток	вебер	Вб
Напряженность магнитного поля	ампер на метр.	А/м
Индуктивность	генри	Гн
Магнитная постоянная	генри на метр	Гн/м
1	2	3
Магнитный момент	ампер - квадратный метр	$A \cdot m^2$
Намагниченность	ампер на метр	А/м
Световой поток	люмен	лм
Освещенность	люкс	лк
Энергетическая светимость (излучаемость)	ватт на квадратный метр	$Вт/м^2$
Спектральная плотность энергетической светимости (излучательность)	ватт на кубический метр	$Вт/м^3$
Поглощенная доза излучения	грей	Гр
Активность изотопа	беккерель	Бк

#### 14. Приставки для образования кратных и дольных единиц

Приставки кратных единиц	Отношени е к основной	Обозначени е русское	Приставк и дольных единиц	Отношени е к основной единице	Обозначени е русское
экса	$10^{18}$	Э	деци	$10^{-1}$	д
пэта	$10^{15}$	П	санتي	$10^{-2}$	с
тера	$10^{12}$	Т	милли	$10^{-3}$	м
гига	$10^9$	Г	микро	$10^{-6}$	мк
мега	$10^6$	М	нано	$10^{-9}$	н
кило	$10^3$	к	пико	$10^{-12}$	п
гекта	$10^2$	г	фемто	$10^{-15}$	ф
дека	$10^1$	да	атто	$10^{-18}$	а

#### 15. Соотношение единиц СИ с единицами других систем и внесистемными единицами

Единицы длины	
$1 \text{ } ^\circ A = 10^{-10} \text{ м}$	$1 \text{ м} = 10^{10} \text{ } ^\circ A$
$1 \text{ дюйм} = 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ м}$	$1 \text{ м} = 39,4 \text{ дюйм}$
$1 \text{ фут} = 0,305 \text{ м}$	$1 \text{ м} = 3,28 \text{ фут}$

1 фермин= $10^{-15}$ м	1 м= $10^{15}$ фермин
<i>Единицы площади</i>	
1 а= $100 \text{ м}^2$	1 $\text{м}^2=10^{-2}$ а
1 га= $10^4 \text{ м}^2$	1 $\text{м}^2=10^{-4}$ га
1 барн (б)= $10^{-28} \text{ м}^2$	1 $\text{м}^2=10^{28}$ барн (б)
<i>Единицы объема</i>	
1 л= $10^{-3} \text{ м}^3$	1 $\text{м}^3 = 10^3$ л
<i>Единицы массы</i>	
1 г= $10^{-3}$ кг	1 кг= $10^3$ г
1 т= $10^3$ кг	1 кг= $10^{-3}$ т
1 ц= $10^2$ кг	1 кг= $10^{-2}$ ц
1 карат (кар)= $2 \cdot 10^{-4}$ кг	1 кг= $5 \cdot 10^3$ кар
1 а.е.м= $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг	1 кг= $6,02 \cdot 10^{26}$ а.е.м.
1 фунт=0,454 кг	1 кг=2,20 фунт
<i>Единицы силы</i>	
1 дин= $10^{-5}$ Н	1 Н= $10^5$ дин
1 кгс=9,81 Н	1 Н=0,102 кгс
1 тс= $9,81 \cdot 10^3$ Н	1 н= $1,02 \cdot 10^{-4}$ тс
1 фунт-сила=4,45 Н	1 Н=0,225 фунт-сила
<i>Единицы работы, энергии, количества теплоты</i>	
1 эрг= $10^{-7}$ Дж	1 Дж= $10^7$ эрг
1 кгс·м=9,81 Дж	1 Дж=0,102 кгс·м
1 кал=4,19 Дж	1 Дж=0,239 кал
1 Вт·ч= $3,6 \cdot 10^3$ Дж	1 Дж= $2,78 \cdot 10^{-4}$ Вт·ч
1 эВ= $1,6010 \cdot 10^{19}$ Дж	1 Дж= $6,25 \cdot 10^{18}$ эВ
1 л.с.·ч= $2,65 \cdot 10^6$ Дж	1 Дж= $3,78 \cdot 10^{-7}$ л.с.·ч
<i>Единицы мощности</i>	
1 эрг/с= $10^{-7}$ Вт	1 Вт= $10^7$ эрг/с
1 кгс·м/с=9,81 Вт	1 Вт=0,102 кгс·м/с
1 л.с.=736 Вт	1 Вт= $1,36 \cdot 10^{-3}$ л.с.
<i>Единицы давления</i>	
1 дин/см <sup>2</sup> = 0,1 Па	1 Па=10 дин/см <sup>2</sup>
1 кгс/м <sup>2</sup> =9,81 Па	1 Па=0,102 кгс/м <sup>2</sup>
1 ат=1 кгс/см <sup>2</sup> $9,81 \cdot 10^4$ Па	1 Па= $1,02 \cdot 10^{-5}$ ат (кгс/м <sup>2</sup> )
1 кгс/мм <sup>2</sup> = $9,81 \cdot 10^6$ Па	1 Па= $1,02 \cdot 10^{-7}$ кгс/мм <sup>3</sup>
1 атм=760 мм рт.ст.= $1,01 \cdot 10^5$ Па	1 Па= $9,87 \cdot 10^{-8}$ атм
1 мм рт.ст.=133 Па	1 Па= $7,50 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст.
1 мм вод.ст.=9,81 Па	1 Па= $0,10^2$ мм вод.ст.
1 бар= $10^5$ Па	1 Па= $10^{-5}$ бар
1 пьеза= $10^3$ Па	1 Па= $10^{-3}$ пьеза
<i>Единицы сила тока</i>	

1 един.СГС <sub>1</sub> = 1/(3·10 <sup>9</sup> ) А	1 А=3·10 <sup>9</sup> СГС <sub>1</sub>
1 ед.СГС <sub>1</sub> =10А	1 А=0,1 ед.СГС <sub>1</sub>
<i>Единицы заряда</i>	
1 един.СГС <sub>Q</sub> = 1/(3·10 <sup>9</sup> ) Кл	1 Кл=3·10 <sup>9</sup> СГС <sub>Q</sub>
1 ед.СГСМ <sub>Q</sub> =10 Кл	1 Кл=0,1 ед.СГСМ <sub>Q</sub>
1 А·ч=3,6·10 <sup>3</sup> Кл	1 Кл=2,78·10 <sup>4</sup> А·ч
<i>Единицы напряженности электрического поля</i>	
1 ед.СГС <sub>Е</sub> =3,6·10 <sup>4</sup> В/м	1 В/м=1/3·10 <sup>4</sup> ед.СГС <sub>Е</sub>
<i>Единицы электрического потенциала</i>	
1 ед.СГС <sub>φ</sub> =300 В	1 В=1/300 ед. СГС <sub>φ</sub>
<i>Единицы электрической емкости</i>	
1 ед.СГС <sub>с</sub> =1/9·10 <sup>-11</sup> Ф	1 Ф=9·10 <sup>11</sup> ед.СГС <sub>с</sub>
<i>Единицы магнитной индукции</i>	
1Гс=10 <sup>-4</sup> Тл	1 Тл=10 <sup>4</sup> Гс
1Вб/см <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> Тл	1 Тл=10 <sup>-4</sup> Вб/см <sup>2</sup>
<i>Единицы магнитного потока</i>	
1 Мкс=10 <sup>-8</sup> Вб	1 Вб=10 <sup>8</sup> Мкс
<i>Единицы напряженности магнитного поля</i>	
1 Э=1/(4π)·10 <sup>3</sup> А/м	1 А/м=4π·10 <sup>-3</sup> Э
<i>Единицы активности нуклида в радиоактивном источнике</i>	
1Ки=3,7·10 <sup>10</sup> Бк	1Бк=2,7·10 <sup>11</sup> Ки
<i>Единицы дозы излучения</i>	
1 рад=10 <sup>-2</sup> Гр	1 Гр=100рад
1 эрг/г=10 <sup>-4</sup> Гр	1 Гр=10 <sup>4</sup> эрг/г
<i>Единицы мощности дозы излучения</i>	
1 рад/с=0,01 Гр/с	1 Гр/с= 100 рад/с
1 эрг/(с·г)=10 <sup>-4</sup> Гр/с	1 Гр/с=10 <sup>4</sup> эрг/(с·г)

Составители: Алешкевич Марина Георгиевна  
Дзю Искра Михайловна  
Митина Лилия Анатольевна

## **Ф И З И К А**

Методические указания по изучению дисциплины  
и задания для контрольной работы.

Редактор Т.К.Коробкова  
Компьютерная верстка ...

Подписано к печати ..... 2020 г.  
Формат 60x84/16. Объем 5 п.л.  
Заказ № .... Тираж 50 экз.

---

Отпечатано в издательстве НГАУ  
630039, РФ, г.Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, офис 106.  
Тел.факс (383) 267-0910. E-mail: 2134539@mail.ru