

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт торговли и сферы услуг

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА»**

*Для студентов направления подготовки:*

*19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья»*

*Направленность (профиль):*

*19.03.02.31. «Технология хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий»  
заочной формы обучения*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	4
<b>1. Общие методические указания</b> .....	6
1.1. О самостоятельной работе с учебными пособиями.....	6
1.2. Очные занятия.....	7
1.3. Об экзамене.....	7
<b>2. Физические основы механики</b> .....	8
2.1. Кинематика поступательного и вращательного движения.....	8
2.2. Динамика поступательного движения.....	10
2.3. Динамика вращательного движения.....	11
2.4. Кинематика и динамика колебательного движения.....	13
2.5. Работа и энергия. Закон сохранения энергии в механике.....	15
2.6. Упругие волны. Уравнение волны.....	18
2.7. Кинематика и динамика жидкостей.....	19
2.8. Примеры решения задач.....	20
<b>3. Основы молекулярной физики и термодинамики</b> .....	24
3.1. Физические основы молекулярно-кинетической теории газов. Явления переноса.....	24
3.2. Три начала термодинамики.....	26
3.3. Некоторые свойства кристаллов.....	28
3.4. Примеры решения задач.....	29
<b>4. Электростатика и постоянный ток</b> .....	34
4.1. Электростатика в вакууме и веществе.....	34
4.2. Постоянный ток.....	36
4.3. Примеры решения задач.....	38
<b>5. Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны</b> .....	41
5.1. Магнитостатика в вакууме и веществе.....	41
5.2. Электромагнитная индукция.....	43
5.3. Физические основы переменного тока (квазистационарные токи)...	44
5.4. Электромагнитные колебания и волны. Уравнения Максвелла.....	45
5.5. Примеры решения задач.....	48
<b>6. Волновая оптика. Квантовая природа излучения</b> .....	52
6.1. Волновая оптика.....	52
6.2. Квантовая оптика.....	53
6.3. Примеры решения задач.....	55
<b>7. Элементы атомной и ядерной физики</b> .....	59
7.1. Методические указания.....	59
7.2. Примеры решения задач.....	62
<b>8. Контрольные задания для студентов</b> .....	67
8.1. Требования, предъявляемые к выполнению контрольной работы...	67
8.2. Задачи контрольной работы № 1.....	68
8.3. Задачи контрольной работы № 2.....	74
<b>Библиографический список</b> .....	80
<b>Приложение</b> .....	81

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика – наука о природе: о строении, свойствах и взаимодействии тел и полей. Она выявляет и объясняет законы природы, которыми определяются все физические явления, поэтому физика основывается на экспериментально установленных фактах и имеет первостепенное значение в формировании научного мировоззрения.

В соответствии с учебным планом, физика является одной из общеобразовательных дисциплин, составляющих теоретическую основу подготовки инженеров–технологов предприятий общественного питания. Изучение физики формирует у студентов основные представления о наиболее общих свойствах и формах движения материи, о важнейших физических закономерностях, лежащих в основе механических, термических, электрических, магнитных, спектральных, поляризационных и других физических методов исследования различных потребительских свойств продуктов.

Особое значение приобретает изучение физики в связи с бурным ростом торговой техники – электронного, оптического, теплового, холодильного и других видов оборудования – и широким внедрением их в производство.

Цель настоящих методических указаний – оказать помощь студентам-заочникам технологических специальностей вуза в изучении курса физики.

В пособии материал курса общей физики разделен на шесть дидактических единиц ГОС и две контрольные работы. К каждому из шести разделов даются пояснения, приводятся основные формулы, примеры решения задач. Все это окажет существенную помощь в освоении материала курса общей физики.

Сведения, связанные со спецификой изучения курса физики в ГОУ ВПО КГТЭИ, будут сообщены студентам преподавателями физики дополнительно.

*Требования ГОС ВПО к обязательному минимуму  
содержания основной образовательной программы*

*Физика*

*300 часов*

---

*Физические основы механики:* понятие состояния в классической механике, уравнения движения, законы сохранения, основы релятивистской механики, принцип относительности в механике

---

*Кинематика и динамика твердого тела, жидкостей и газов*

---

*Электричество и магнетизм:* электростатика и магнитостатика в вакууме и веществе, уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме; материальные уравнения, квазистационарные токи, принцип относительности в электродинамике

---

*Физика колебаний и волн:* гармонический и ангармонический осциллятор, физический смысл спектрального разложения, кинематика волновых процессов, нормальные моды, интерференция и дифракция волн, элементы Фурье-оптики

---

*Квантовая физика:* корпускулярно-волновой дуализм, принцип неопределенности, квантовые состояния, принцип суперпозиции, квантовые уравнения движения, операторы физических величин, энергетический спектр атомов и молекул, природа химической связи

---

*Статистическая физика и термодинамика:* три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения, элементы неравновесной термодинамики, классическая и квантовые статистики, кинетические явления, системы зараженных частиц, конденсированное состояние. Физический практикум

## 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основной формой обучения студента-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы по расписанию организуется чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы. Поэтому процесс изучения физики имеет следующие этапы:

- 1) проработка установочных и обзорных лекций;
- 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
- 3) выполнение контрольных работ;
- 4) прохождение лабораторного практикума;
- 5) сдача зачетов и экзаменов.

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- 1) вести конспект, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических понятий и сущность физических явлений, методов исследования;
- 2) пользоваться одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом пособий), чтобы не утратить логическую связь между отдельными вопросами (хотя бы внутри какого-то раздела курса);
- 3) изучать курс физики систематически, а иначе материал будет усвоен поверхностно.

### 1.1. О самостоятельной работе с учебными пособиями

Главный элемент в организации самостоятельной работы – календарный план занятий, который должен быть составлен самим студентом, и систематическое его выполнение. Если после изучения темы по учебнику с использованием методических указаний и других пособий некоторые вопросы останутся неясными, следует обратиться за консультацией к преподавателю на кафедру.

Для руководства самостоятельными занятиями каждый студент прикрепляется к преподавателю, который и проводит с ним все необходимые консультации по вопросам, возникающим у студента при изучении курса, выполнении лабораторных работ или контрольных заданий.

Чтобы лучше усвоить учебный материал, а также успешно выполнить контрольную работу, необходимо после изучения каждой темы курса решить несколько задач из сборника [3]. В случае затруднений следует обратиться к разделу задачника «Ответы и решения», где помещены решения типичных задач. Внимательный разбор приведенных решений поможет найти правильный путь к решению других задач.

Результаты самостоятельной работы по каждой теме нужно систематически проверять, отвечая (лучше в письменной форме) на вопросы для самопроверки.

## 1.2. Очные занятия

В дополнение к самостоятельной работе студентов институт организует очные занятия: лекции и лабораторные работы. Лекции рассматривают узловые вопросы курса, на которые следует обратить особое внимание, направляют самостоятельную работу студентов, знакомят с литературой по данному вопросу, с последними достижениями и перспективами развития науки.

*Цель обзорных лекций – обобщить и подытожить самостоятельно пройденный студентами в течение учебного семестра материал, уточнить отдельные вопросы курса, слабо усвоенные при самостоятельной работе.*

Лабораторные занятия по физике являются строго обязательной формой обучения, причем одной из наиболее активных форм, позволяющих организовать самостоятельную работу студентов. До проведения лабораторной работы студенту нужно хорошо уяснить ее содержание, понять физический смысл характеристик, которые должны быть подтверждены экспериментом.

Очные консультации проводятся кафедрой в определенные дни и часы по расписанию.

## 1.3. Об экзамене

К экзамену по физике допускаются студенты, выполнившие контрольные работы, лабораторный практикум и получившие по ним зачеты. На экзамене студенту по решениям задач могут быть заданы дополнительные вопросы.

На экзаменах и зачетах в первую очередь выясняется *усвоение основных теоретических положений программы*. Физическая сущность явлений, законов, процессов должна излагаться четко и достаточно подробно. Решать задачи необходимо без ошибок и уверенно. Любая графическая работа должна быть выполнена аккуратно и четко. При выполнении этих условий знания по курсу физики могут быть признаны *удовлетворительными*.

## 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

### 2.1. Кинематика поступательного и вращательного движения

Предметом классической механики является движение макроскопических материальных тел со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света в вакууме (для  $v < 400$  км/с). Следует уяснить кинематические характеристики движения: траектория, скорость и ускорение. В кинематике поступательного движения рассматриваются зависимости

$$v = f(t), a = f(t), S = f(t).$$

Кинематика движения известна, если известен закон движения, т. е. уравнение, устанавливающее зависимость положения тела в данной системе отсчета от времени, например,  $x = f(t)$ .

$$x = 5 + 3t + 2t^2. \quad (1)$$

Пройденный материальной точкой путь является функцией времени  $S = f(t)$ .

Для случая равнопеременного движения точки по прямой эта функция имеет вид  $S = S_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ . Сравнив с вышеприведенной зависимостью  $x = f(t)$ , можно определить  $S_0 = 5$  м,  $v_0 = 3$  м/с,  $a = 4$  м/с<sup>2</sup>.

Как и в случае поступательного движения, вращательное движение может быть равномерным, равнопеременным и неравнопеременным. Кинематические величины, характеризующие вращательное движение, аналогичны соответствующим величинам для поступательного движения. Путь  $S$ , пройденный твердым телом при поступательном движении, соответствует углу поворота  $\varphi$  твердого тела во вращательном движении; линейная скорость  $v$  – угловой скорости  $\omega$ , линейное ускорение  $a$  – угловому ускорению  $\varepsilon$ .

Следует иметь в виду, что векторы  $\omega$  и  $\varepsilon$  являются аксиальными. Надо знать правило определения направления (конструирования) этих векторов. Все формулы вращательного движения легко могут быть получены из формул поступательного движения, если в последних все обозначения линейных величин заменить обозначениями соответствующих угловых величин.

Решая задачи по кинематике, в которых необходимо использовать математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, студент должен научиться определять мгновенные скорость и

ускорение по заданной зависимости координаты от времени  $x = f(t)$  и решать обратные задачи.

Для решения ряда задач необходимо использовать формулы, определяющие координаты центра масс (инерции)

$$x_C = \frac{\sum \Delta m_i \cdot x_i}{m}, y_C = \frac{\sum \Delta m_j \cdot y_j}{m}, z_C = \frac{\sum \Delta m_k \cdot z_k}{m}.$$

### Вопросы для самопроверки

1. Что называется материальной точкой?
2. Что называется мгновенной скоростью и ускорением?

Напишите формулы для их определения.

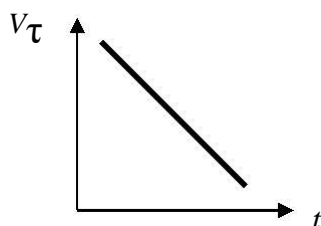
3. Какими ускорениями обладает материальная точка, движущаяся с переменной скоростью по криволинейной траектории? Укажите роль каждого из этих ускорений. Приведите чертеж.

4. Какими кинематическими величинами характеризуется вращательное движение? Назовите единицы их измерения в системе СИ.

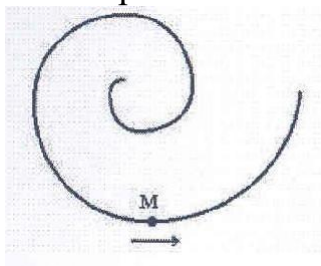
5. Напишите формулы, устанавливающие связь между линейными величинами и угловыми.

6. Материальная точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $V$ . Показан график зависимости проекции скорости  $V_\tau$  от времени ( $\tau$  – единичный вектор положительного направления,  $V_\tau$  – проекция  $V$  на это направление). При этом для нормального  $a_n$  и тангенциального  $a_\tau$  ускорения выполняются условия...

$V_\tau$  от времени ( $\tau$  – единичный вектор положительного направления,  $V_\tau$  – проекция  $V$  на это направление). При этом для нормального  $a_n$  и тангенциального  $a_\tau$  ускорения выполняются условия...



7. Точка  $M$  движется по спирали в направлении, указанном стрелкой.



Нормальное ускорение по величине не изменяется. При этом величина скорости...

- $a$
- $a_n = 0; a_\tau < 0$
  - $a_n > 0; a_\tau < 0$
  - $a_n > 0; a_\tau > 0$
  - $a$
  - $a_n > 0; a_\tau = 0$

увеличится  
по уменьшится  
не изменится



## 2.2. Динамика поступательного движения

В этой теме особое внимание надо уделить второму закону Ньютона и его математическим выражениям через ускорение и изменение импульса. Необходимо уяснить, какие системы координат являются инерциальными, и узнать содержание принципа относительности Галилея.

Основными динамическими характеристиками движения являются масса тела и сила. Следует уяснить, что масса рассматривается в динамике как мера инертности.

Необходимо правильно понять и сформулировать закон сохранения импульса, а также закон сохранения и превращения энергии. Перед этим надо получить отчетливое представление о понятиях «изолированная система», «консервативные», «диссипативные», «внутренние и внешние» силы, «центр инерции», «энергия», и «механическая» работа. Тогда станет ясно, что в формулировке второго закона Ньютона и говорится только о внешних силах, ибо только они могут изменять полный импульс системы.

Задачи на динамику материальной точки и поступательного движения твердого тела охватывают такие вопросы, как закон движения центра масс механической системы, закон сохранения импульса, работа силы и ее выражение через криволинейный интеграл ( $A = \int_S F_S \cdot dS$ ), связь кинетической энергии механической системы с работой сил, приложенных к этой системе, закон сохранения механической энергии.

Если положение центра масс задать радиусом-вектором

$$r_c = \frac{\sum \Delta m_i r_i}{\sum \Delta m_i} = \frac{\sum \Delta m_i r_i}{m}, \text{ то скорость центра масс}$$

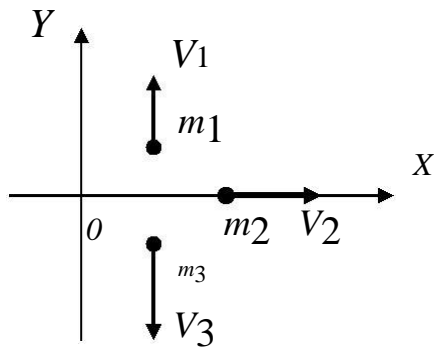
$$v_c = \frac{dr_c}{dt} = \frac{\sum \Delta m_i}{m} \cdot \frac{dr_i}{dt} = \frac{\sum \Delta m_i v_i}{m} = \frac{\sum \Delta p_i}{m} = m.$$

### Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте три закона Ньютона. Условие их выполнения.
2. Сформулируйте принцип относительности Галилея, Эйнштейна.
3. Дайте определение физической величине «сила».
4. Что называется механической работой? Напишите формулу работы переменной силы.
5. Сформулируйте закон сохранения импульса.
6. Дайте общую формулировку закона сохранения и превращения энергии.

7. Система состоит из трех шаров с массами *Варианты ответов:*

$m_1 = 1$  кг,  $m_2 = 2$  кг,  $m_3 = 3$  кг, которые двигаются так, как показано на рисунке



Если скорости шаров равны  $V_1 = 3$  м/с,  $V_2 = 2$  м/с,  $V_3 = 1$  м/с, то вектор скорости *центра масс* этой системы направлен...

вдоль оси  $OX$   
вдоль оси  $-OY$   
вдоль оси  $+OY$

### 2.3. Динамика вращательного движения

Кроме угловых величин, характеризующих кинематику вращательного движения, необходимо усвоить терминологию, относящуюся к величинам, определяющим динамику вращательного движения: момент силы, момент инерции, момент импульса, центр инерции, центр масс, оси инерции (свободные, главные).

Основной закон динамики вращательного движения устанавливает связь между моментом силы с одной стороны, моментом инерции и угловым ускорением – с другой. Это – второй закон Ньютона, примененный к вращательному движению ( $M = J \cdot \varepsilon$ ), где роль силы играет момент силы  $M = [r, F]$ , а роль массы – момент инерции  $J$  ( $J = m \cdot r^2$  для материальной точки;  $J = \sum_{i=1}^m \Delta m_i \cdot r_i^2$  – момент инерции абсолютно твердого тела относительно оси вращения).

Из основного закона динамики вращательного движения выводится закон сохранения момента импульса.

Следует хорошо уяснить формулу, связывающую кинетическую энергию вращающегося тела и работу момента силы:

$$M \cdot \varphi = \frac{1}{2} J \omega_t^2 - \frac{1}{2} J \omega_0^2.$$

#### Вопросы для самопроверки

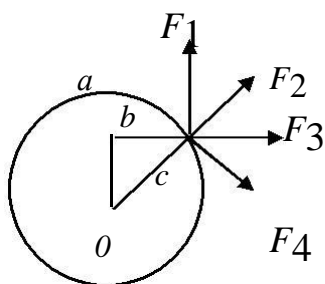
1. Какие физические величины используются для характеристики динамики вращательного движения? В каких единицах они измеряются?
2. Что называется моментом инерции тела? Напишите формулу момента инерции твердого тела относительно неподвижной оси вращения.
3. Напишите формулу теоремы Штейнера и объясните ее смысл.

4. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения твердого тела. Напишите уравнение основного закона динамики вращательного движения для случая  $I = \text{const}$ .

5. Сформулируйте закон сохранения момента импульса и запишите его формулу. Приведите поясняющие примеры.

6. К точке, лежащей на внешней поверхности диска, приложены 4 силы. Если ось вращения проходит через центр  $O$  диска перпендикулярно

плоскости рисунка, то плечо силы  $F_1, F_2, F_3, F_4$  равно...

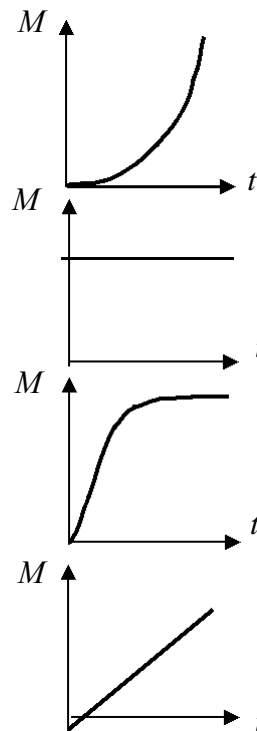


$b$   
 $0$   
 $c$   
 $a$

7. Шар и полый цилиндр (трубка), имеющие одинаковые массы и радиусы, скатываются без проскальзывания с горки высотой  $h$ . Тогда **верным** утверждением относительно времени скатывания к основанию горки является следующее...

быстрее скатится полый шар;  
быстрее скатится шар; обатела скатятся одновременно

8. Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L = at^{\frac{2}{3}}$ . Укажите график, правильно отражающий зависимость величины момента сил, действующих на тело, от времени



## 2.4. Кинематика и динамика колебательного движения

При изучении кинематики колебательного движения необходимо уяснить и твердо знать, что обозначают термины *амплитуда*, *частота*, *фаза колебания*. Усвоив вывод дифференциального уравнения гармонического колебательного движения, необходимо дать себе отчет, какими параметрами полностью определяется гармоническое колебание.

Уясните, как изменяются смещение, скорость, ускорение в течение одного периода.

Полезно построить кривые, характеризующие эти три величины графически, а также уяснить, как гармоническое колебание может быть представлено в виде вращающегося вектора?

Изучая динамику гармонического колебательного движения, следует понять, что это движение вызывает всегда сила, пропорциональная смещению и противоположная ему по знаку.

Следует уяснить различие между математическим и физическим маятником, а также сходство и различие в формулах, определяющих периоды их колебаний (приведенная длина физического маятника).

Необходимо также знать, от чего зависит полная энергия гармонически колеблющейся точки.

Необходимо ознакомиться с фигурами Лиссажу и разобрать вопрос о сложении:

- а) одинаково направленных колебаний;
- б) двух гармонических взаимно-перпендикулярных колебаний.

Следует обратить внимание на определение величин, характеризующих затухание колебания, уяснить физический смысл коэффициента затухания и логарифмического декремента затухания.

Изучая вынужденные колебания, надо, прежде всего, сформулировать определение терминов: *свободные колебания*, *вынужденные колебания*, понять, что вынужденные колебания имеют место при наличии постоянно действующей и притом не всякой, а только периодически изменяющейся силы. Полезно рассмотреть примеры, раскрывающие сущность и значение явления резонанса.

### Вопросы для самопроверки

1. Выведите дифференциальное уравнение гармонического колебания.
2. Получите формулы скорости и ускорения в гармоническом колебательном движении и дайте их физическое истолкование.
3. Постройте графики, изображающие изменение в зависимости от времени величины смещения, скорости и ускорения в случае гармонического колебания.

4. Какой маятник называется математическим, какой физическим? Напишите формулы для вычисления периода колебаний пружинного, математического и физического маятников. Объясните, как они получены, проанализируйте их.

5. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 4$  см и периодом  $T = 2$  с. *Варианты ответов:*

Если смещение точки в момент времени, принятый за начальный, равно своему максимальному значению, то точка колеблется в соответствии с уравнением (в СИ)...

$$\begin{aligned} x &= 0,04 \sin \pi t \\ x &= 0,04 \cos \pi t \\ x &= 0,04 \sin 2t \\ x &= 0,04 \cos 2t \end{aligned}$$

6. Чему равна величина результирующей амплитуды, получающейся при сложении двух гармонических колебаний одного направления и одинакового периода?

7. Какие колебания называются биениями?

8. Назовите величины, характеризующие затухание колебания.

9. Какие колебания называются вынужденными?

10. В чем состоит условие, при котором наступает резонанс вынужденных колебаний? Приведите примеры, поясняющие сущность явления механического резонанса и его практическое значение.

11. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \pi$  амплитуда результирующего колебания равна...

$$\begin{array}{ll} 0; & 2A_0; \\ A_0\sqrt{2}; & A_0\sqrt{3}. \\ \pi & \frac{\pi}{2} \end{array}$$

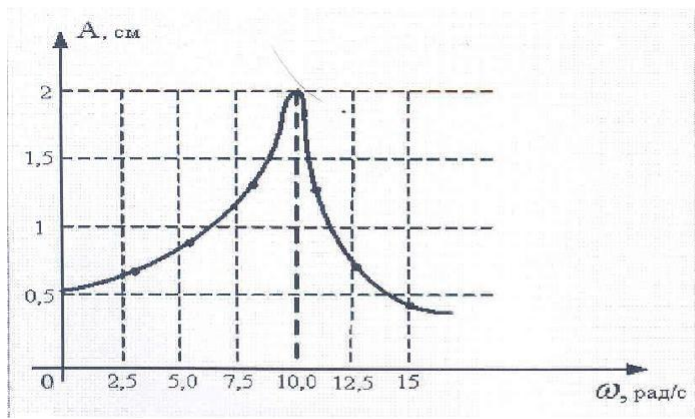
12. Складываются два гармонических колебания  $\frac{\pi}{2}$ ;  $\frac{\pi}{4}$  однонаправленного с одинаковыми периодами.  $0$ ;  $\pi$ . Результирующее колебание имеет **максимальную** амплитуду при разности фаз, равной...

$$\frac{\pi}{2}$$

13. Складываются два гармонических колебания  $\frac{\pi}{2}$ ;  $\pi$ ; однонаправленного с одинаковыми периодами.  $2$  Результирующее колебание имеет **минимальную** амплитуду при разности фаз, равной...  $\frac{\pi}{2}$ ;  $0$ .

4

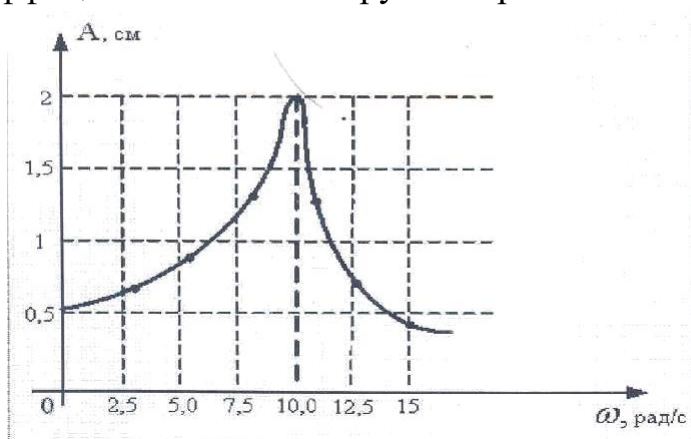
14. На рисунке представлена зависимость амплитуды колебаний математического маятника от частоты внешней силы. Длина нити маятника равна...



0,1 м  
0,02 м  
1 м  
0,2 м

15. На рисунке представлена зависимость амплитуды колебаний груза массой 0,1 кг на пружине от частоты внешней силы.

Коэффициент жесткости пружины равен...



1000 н/м  
1 н/м  
10 н/м  
100 н/м

## 2.5. Работа и энергия.

### Закон сохранения энергии в механике

Группа тел, рассматриваемых в данной задаче, составляет *изолированную систему*. В изолированной системе действуют только парные силы «действие-противодействие» Их называют *внутренними силами*. Силы, действующие со стороны тел, не принадлежащих системе – *внешние силы*. Только внешние силы могут изменять энергию системы, ее импульс, момент импульса.

Для замкнутых (изолированных) систем существуют такие функции координат и скоростей, образующих систему частиц (тел), которые сохраняют при движении постоянные значения – *интегралы движения*. Таких интегралов движения имеется три: *энергия, импульс, момент импульса*. В соответствии с этим имеет место три закона сохранения – законы сохранения энергии (механический), импульса и момента импульса.

Если на тело действует постоянная сила, а тело совершает перемещение  $S$ , то *работа равна произведению постоянной движущей силы на величину перемещения*

$$A = (F \cos \alpha)S = FS \cdot \cos \alpha ,$$

где  $\alpha$  – угол, под которым сила приложена к телу. При  $\alpha = 90^\circ$  сила не совершает работы по перемещению тела. Если  $\alpha = 0$ , то

$$A=FS.$$

В случае переменной силы и криволинейного пути

$$A = \int F \cos \alpha ds ,$$

а работа на элементарном участке будет  $dA = F \cos \alpha ds = Fv dt$ .

Работа, совершаемая в единицу времени называется мощностью

$$P = \frac{dA}{dt} = Fv .$$

Энергия, связанная с движением системы или ее частью называется *кинетической*, а связанная с взаимным расположением взаимодействующих частей – *потенциальной*.

Изменение энергии измеряется работой, которую может совершить система, переходя из одного состояния в другое

$$A = W_1 - W_2 ,$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – энергия системы в первом и во втором состоянии соответственно.

Для кинетической и потенциальной энергий соответственно имеем

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} ; \quad A = mgh_1 - mgh_2 = mg\Delta h .$$

Закон сохранения и превращения механической энергии: *полная механическая энергия системы тел, на которые действуют консервативные силы (силы, работа которых не зависит от формы пути, а лишь от начального и конечного состояния системы) остается постоянной*.

## Вопросы для самопроверки

1. Записать формулу работы, совершаемой переменной силой.
2. Дать понятие: «консервативные», «диссипативные» силы. Чему равна работа этих сил по замкнутому контуру?
3. Назвать единицы измерения работы, мощности и энергии в системах СИ и СГС.
4. В чем состоит различие между понятиями «энергия» и «работа»?
5. Работа силы тяжести, трения и упругости.
6. Величина работы, совершаемой постоянной силой при поступательном движении тела.
7. Как найти работу, совершаемую при торможении тела до полной его остановки?
8. Величина работы на элементарном участке.
9. Кинетическая энергия вращающегося тела.
10. Кинетическая энергия катящегося тела (шара) при плоском его движении.
11. Дать понятие потенциальной энергии.
12. Чему равна кинетическая энергия системы тел?
13. Для каких систем тел справедлив закон сохранения механической энергии.
14. Найти приращение энергии  $\Delta E$ , если:

а)  $E_1 = 3$  Дж,  $E_2 = 5$  Дж;

б)  $E_1 = 8$  Дж,  $E_2 = 6$  Дж.

- |   |  |
|---|--|
| <p>15. Тело массой 2 кг бросили с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Если на поверхности Земли потенциальная энергия тела равна нулю и силами сопротивления воздуха можно пренебречь, значение его кинетической энергии после прохождения расстояния до точки максимального подъема составит...</p> | <p><i>Варианты</i></p> <p>200 Дж</p> <p>300 Дж</p> <p>100 Дж</p> <p>400 Дж</p> |
| <p>16. Тело массой 2 кг бросили с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Если на поверхности Земли потенциальная энергия тела равна нулю и силами сопротивления воздуха можно пренебречь, значение его кинетической энергии на половине максимальной высоты подъема составит...</p>                     | <p>200 Дж</p> <p>100 Дж</p> <p>800 Дж</p>                                      |



## 2.6. Упругие волны. Уравнение волны

Необходимо уяснить процессы образования и распространения волн в упругой среде, а также понятия «фронт волны» (или *волновой фронт*), «волновая поверхность» и связь длины волны  $\lambda$ , частоты  $\nu$  и скорости волны  $v$

$$\lambda \cdot \nu = v \quad (1)$$

Знать вывод плоской волны

$$\mathcal{E} = a \cdot \sin \left[ \omega t - \frac{x}{v} + \varphi_0 \right] \quad (2)$$

Если в (2) продифференцировать аргумент функции, то получим  $\frac{d}{dt} \left[ \omega t - \frac{x}{v} + \varphi_0 \right] = 0$ , откуда  $\frac{dx}{dt} = v$  и, скорость распространения волны  $v$  в уравнении (2) есть скорость перемещения фазы, т. е.  $v$  – *фазовая скорость*.

Уравнению плоской волны можно придать симметричный относительно  $x$  и  $t$  вид, введя *волновое число*

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \quad (3)$$

Тогда уравнение плоской синусоидальной *бегущей волны*, распространяющейся вдоль оси  $x$ , будет иметь вид

$$\mathcal{E} = a \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi_0) \quad (4)$$

или, если  $\varphi_0 = 0$

$$\mathcal{E} = a \cdot \sin(\omega t - kx) \quad (5)$$

Амплитуда колебаний  $a$  не зависит от  $x$ , если энергия волны не поглощается средой.

Обратить внимание на отличие стоячих волн от бегущих, изучить механизм образования стоячих волн, вызванных интерференцией волн исходящих из источников и отраженных от границ колеблющегося тела.

### Вопросы для самопроверки

1. Что называется поперечной и продольной волной?
2. Какого типа волны наблюдаются в твердых, жидких и газообразных средах?

3. Напишите уравнение плоской синусоидальной волны и объясните величины, в него входящие.

4. Дайте понятия *волнового фронта*, *волновой поверхности* и *волнового числа*.

5. Чему равна плотность потока энергии упругой волны (*вектор Умова*).

6. Уравнение плоской синусоидальной волны, *Варианты* распространяющейся вдоль оси *OX* со скоростью 500 м/с, *ответов:*

имеет вид  $\delta = 0,01 \sin(10^3 t - kx)$ . Волновое число  $k$  (в  $\text{м}^{-1}$ ) равно... 2  
5  
0,5

7. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси *OX*, имеет вид  $\delta = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . 6,28  
2  
1

Период (в мс) равен...

8. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси *OX*, имеет вид  $\delta = 0,01 \sin 10 \left( t - \frac{x}{500} \right)$ . Длина волны (в м) равна... 3,14  
1000  
2

## 2.7. Кинематика и динамика жидкостей

Необходимо знать закон Паскаля. На основании уравнения неразрывности струи и закона сохранения энергии вывести уравнение Бернулли. Знать отличия идеальной и реальной жидкостей. Объяснить физический смысл коэффициента вязкости и числа Рейнольдса. Понять причины внутреннего трения (вязкости) жидкости и методы его определения.

Следует знать особенности строения жидкости, уяснить понятия *ближний порядок* и *сфера молекулярного действия*, особенности молекулярных сил. Надо обратить внимание на причины образования поверхностного слоя жидкости, на силы, которые в этом слое действуют.

Ознакомиться с явлениями на границе жидкости и твердого тела (смачивание и несмачивание – полное и частичное). Знать вывод формулы добавочного давления под искривленной поверхностью жидкости (формула Лапласа), роль добавочного давления в капиллярах.

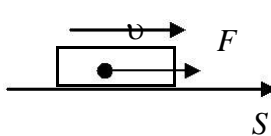
Необходимо знать вывод формулы, определяющей зависимость величины капиллярного давления от кривизны поверхности жидкости (формула Жюрена).

## Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлено давление в неподвижных жидкостях?
2. Что такое линии тока и трубки тока?
3. Какое движение жидкости называется ламинарным, турбулентным?
4. Выведите уравнение Бернулли и примените его для случая горизонтального течения жидкости (при отсутствии трения).
5. Чем обусловлено внутреннее трение? Что называется коэффициентом вязкости и каковы единицы его измерения в системах СИ и СГС?
6. Что такое кинематическая вязкость?
7. Объясните назначение и физический смысл числа Рейнольдса.
8. Поясните сущность метода Стокса для измерения коэффициента динамической вязкости жидкости. .
9. От чего зависит величина добавочного лапласового давления?
10. Что характеризует коэффициент поверхностного натяжения жидкости? В каких единицах он измеряется в системе СИ и как зависит от температуры?
11. Чем объясняют явления смачивания и несмачивания?
12. Дайте понятие *капилляра*.
13. Капиллярная постоянная.

## 2.8. Примеры решения задач

**Задача 1.** Тело массой 1 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно. Зависимость пути, пройденного телом, от времени задается уравнением  $S = 2t^2 + 4t + 1$ . Определить работу силы за 10 с от начала ее действия и зависимость кинетической энергии от времени.

$A = ? \quad E_k = ?$	<b>Решение</b>	
$m = 1 \text{ кг}$	Работа, совершаемая силой	
$S = 2t^2 + 4t + 1$	$A = \int F \cdot dS$ . (1)	
$t = 10 \text{ с}$	Сила, действующая на тело, по второму закону Ньютона равна $\frac{dS}{dt}$ . (2)	
$F = ma$ , или $F = m \frac{d^2S}{dt^2}$		

Мгновенное ускорение определяется первой производной от скорости по времени или второй производной от пути по времени.

В соответствии с этим

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

$$a = \frac{dv}{dt} = 4. \quad (4)$$

Тогда

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

По выражению (3) находим

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

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

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

По этой формуле вычислим работу, совершаемую силой за 10 с с начала ее действия:

$$A = \int_0^{10} (16mt + 16m)dt = m \left[ \frac{16t^2}{2} + 16t \right]_0^{10} = 1 \cdot (8 \cdot 100 + 16 \cdot 10) = 960 \text{ (Дж)}$$

Кинетическая энергия равна

$$E_K = \frac{mv^2}{2}. \quad (7)$$

Подставляя (3) в (7), имеем:

$$E_K = \frac{m(4t + 4)^2}{2} = m(8t^2 + 16t + 8).$$

$$\text{Ответ: } A = 960 \text{ Дж; } E_K = m(8t^2 + 16t + 8).$$

**Задача 2.** Маховик, обладающий моментом инерции  $4 \text{ кг м}^2$ , вращается и под действием постоянного тормозящего момента уменьшает свою частоту вращения с 600 об/мин до 120 об/мин за 2 минуты. Вычислить: тормозящий момент  $M_T$ ; работу торможения  $A_T$ ; число оборотов  $N$  за время торможения.

$\varepsilon = ?$

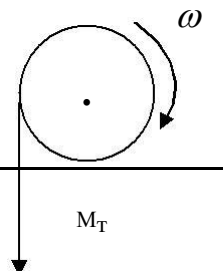
$M_T = ?$

$A_T = ?$

$N = ?$

### Решение

Так как тормозящий момент постоянный, то вращение маховика равнозамедленное, следовательно, угловое ускорение



<p>2</p> <p><math>J = 4 \text{ кг} \cdot \text{м}</math></p> <p><math>n_0 = 10 \text{ об/с}</math></p> <p><math>n_t = 2 \text{ об/с}</math></p> <p><math>t = 120 \text{ с}</math></p>	<p><math>\varepsilon = \frac{\omega t - \omega_0}{t}</math>,</p> <p>где <math>\omega = 2\pi \cdot n</math></p> <hr/> <p>Подставляя числовые значения, получим:</p> $\varepsilon = \frac{4\pi \cdot 20\pi - 4\pi \cdot 20\pi}{120 \cdot 120} = - \frac{16 \cdot 3,14}{120 \cdot 120} = -0,42 (\text{с}^{-2}).$ <p>Из основного закона динамики вращательного движения найдем тормозящий момент <math>M_T = J \cdot \varepsilon</math>.</p> <p>Подставляя числовые данные, получим</p> $M_T = 4 \cdot (-0,42) = -1,68 (\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}) = -1,68 (\text{Н} \cdot \text{м}).$ <p>Работа торможения равна изменению кинетической энергии маховика</p> $A = E_k - E_{k_1} = \frac{J\omega_t^2}{2} - \frac{J\omega_0^2}{2}.$ <p>Подставляя числовые данные, получим</p> $A_T = \frac{4 \cdot (20\pi)^2}{2} - \frac{4 \cdot (4\pi)^2}{2} = 2 \cdot (400 - 16) \cdot 3,14^2 = 2 \cdot 384 \cdot 9,86 = 7572 (\text{Дж}).$ <p>За время торможения маховик совершил <math>N</math> полных оборота,</p> $\frac{\varphi}{\pi}.$ <p>или угол поворота <math>\varphi = 2\pi N</math>, откуда <math>N = \frac{\varphi}{2\pi}</math></p> <p>Угол <math>\varphi</math> определим по формуле <math>A = M \cdot \varphi</math></p> $\varphi = \frac{A}{M}.$ <p>Следовательно, <math>N = \frac{A}{2\pi M}</math>.</p> $N = \frac{7572}{6,28 \cdot 1,68} = 718 (\text{оборотов}).$ <p><b>Ответ:</b> <math>\varepsilon = -0,42 \text{ с}^{-2}</math> ;</p> <p><math>M_T = -1,68 \text{ Н} \cdot \text{м}</math>;</p> <p><math>A_T = 7572 \text{ Дж}</math>;</p> <p><math>N = 718 \text{ оборотов}</math>.</p>
---	---

**Задача 3.** Математический маятник массой 20 г колеблется с амплитудой 5 см. Максимальная скорость маятника равна  $15,7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ . Определить частоту, период и циклическую частоту колебаний, длину нити, полную энергию и максимальное ускорение маятника.

## Решение

 $v, T, \omega, l, E, \zeta_{\max} = ?$ 

$$m = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$A = 0,05 \text{ м}$$

$$v_{\max} = 15,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Для случая  $\varphi_0 = 0$  (начальная фаза колебаний не задана), уравнение гармонических колебаний маятника

$$x = A \cdot \cos \omega t,$$

где  $x$  – смещение маятника от положения равновесия;  $A$  – амплитуда колебаний;

$$\omega = 2\pi/T \text{ – циклическая (круговая) частота;}$$

$T$  – период колебания;  $t$  – время.



$$\text{Скорость колебаний } v = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \sin \omega t.$$

Отсюда следует, что  $v_{\max} = \omega \cdot A$ , и  $\omega = \frac{v_{\max}}{A}$ .

Подставляя числовые данные, получим

$$\omega = \frac{15,7 \cdot 10^{-2}}{0,05} = 3,14 \text{ (с}^{-1}\text{)}. [\omega] = \frac{\text{М}}{\text{с}} = \text{с}^{-1}.$$

Период и частота колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. T = \frac{2 \cdot 3,14}{3,14} = 2 \text{ с}. \quad \nu = \frac{1}{T}. \nu = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ (Гц)}.$$

Из формулы периода колебаний математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ находим длину маятника:}$$

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2}, l = \frac{9,8 \cdot 4}{4 \cdot 9,86} \approx 1 \text{ (м)}$$

Полная энергия маятника  $E = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$ .

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14^2 \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ (Дж)}.$$

Ускорение маятника в любой момент времени

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos \omega t.$$

Максимальное ускорение  $a_{\max} = \omega^2 \cdot A$ .

$$a_{\max} = 3,14^2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 0,5 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Ответ:

$$T = 2 \text{ с}, \nu = 0,5 \text{ Гц},$$

$$\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}, l \approx 1 \text{ м},$$

$$E = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}, a_{\max} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

max

### 3. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

#### 3.1. Физические основы молекулярно-кинетической теории газов. Явления переноса

Следует обратить внимание на два качественно различных и взаимодополняющих метода исследования свойств тел и физических явлений – статистический (молекулярно-кинетический) и термодинамический.

Свойства огромной совокупности молекул отличны от свойств каждой отдельной молекулы и определяются средними значениями кинематических характеристик структурных частиц, т. е. их скоростей, энергий и т.д. Молекулярно-кинетическая теория оперирует исключительно средними величинами для выяснения таких явлений, как давление, расширение при нагревании, диффузия, теплопроводность, внутреннее трение или вязкость и др., для чего вводятся такие величины, как средняя квадратичная скорость движения молекул и их средняя кинетическая энергия, средняя длина свободного пробега, среднее число столкновений молекул газа в единицу времени и др.

Важным является вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории для идеального газа, устанавливающего связь между давлением и средней кинетической энергией молекул газа, а также связь между средней кинетической энергией молекул и абсолютной температурой газа. Необходимо продумать и усвоить закон распределения молекул по скоростям и рассмотреть общие характеристики явлений переноса: *диффузии, внутреннего трения, теплопроводности*, составить ясное представление о том, перенос какой физической величины молекулами газа имеет место в каждом из трех перечисленных явлений и что является их движущей силой.

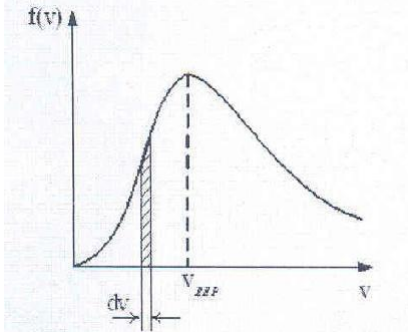
#### Вопросы для самопроверки

1. Какой газ называется идеальным? Какими параметрами определяется состояние идеального газа?
2. Выведите уравнение Менделеева–Клайперона для моля газа.
3. Выведите основное уравнение кинетической теории для идеального газа.
4. Что такое средняя квадратичная и наиболее вероятная скорость молекул?
5. Что такое «степень свободы»? Сколько степеней свободы имеет двухатомная молекула идеального и реального газа?

6. Переносом каких физических величин характеризуется явление диффузии, внутреннего трения, теплопроводности?

7. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла),

где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала



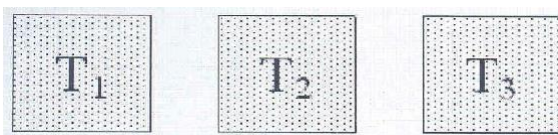
Для этой функции верным утверждением является...

- при изменении температуры площадь под кривой *изменяется*;
- при изменении температуры площадь под кривой *не изменяется*;
- с уменьшением температуры величина максимума *уменьшается*.

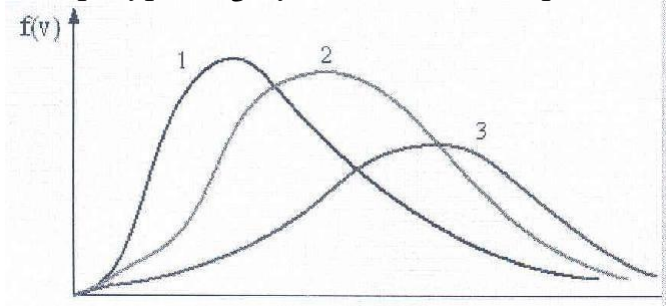
8. Если  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии идеального газа,  $A$  – работа газа,  $Q$  – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изохорного охлаждения газа справедливы соотношения...

- $Q < 0; A < 0; \Delta U = 0;$
- $Q < 0; A < 0; \Delta U < 0;$
- $Q < 0; A = 0; \Delta U < 0;$
- $Q = 0; A > 0; \Delta U < 0.$

9. В трех одинаковых сосудах находится одинаковое количество газа, причем  $T_1 > T_2 > T_3$ .



Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой  $T_3$  будет описывать кривая...



3  
2  
1



### 3.2. Три начала термодинамики. Термодинамические функции состояния

В отличие от молекулярно-кинетической теории, термодинамика не изучает конкретные молекулярные взаимодействия, происходящие с отдельными атомами или молекулами, а рассматривает взаимопревращения и связь различных видов энергии, теплоты и работы. Термодинамика базируется на двух опытных законах (началах), которые позволяют описывать физические явления, связанные с превращением энергии макроскопическим путем. Поэтому все выводы, получающиеся из первого и второго законов термодинамики, применимы ко всем веществам: твердым, жидким, газообразным (в отличие от выводов молекулярно-кинетической теории, разработанной для газов).

При изучении основ термодинамики необходимо усвоить такие понятия, как *теплота, работа, теплоемкость, термодинамическая система, термодинамические параметры (параметры состояния), равновесное состояние, термодинамический процесс, уравнение состояния, внутренняя энергия* и т. д. Нужно уметь применять первый закон термодинамики к изопроцессам в идеальном газе.

Следует уметь вычислять теплоемкости газа (удельную и молярную) при постоянных объеме и давлении, исходя из теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы.

Для понимания второго закона термодинамики необходимо усвоить понятия о необратимых и обратимых, а также круговых (циклических) процессах; выяснить, почему первый закон термодинамики является недостаточным для полного описания действительных процессов природы.

Следует знать сущность формулировки второго закона термодинамики Томсона и формулировки Клаузиуса, сравнить их.

Уяснить понятие *энтропия* системы ( $S = k \ln W$ ) и свойства энтропии системы, знать неравенство Клаузиуса.

Надо обратить внимание, к каким практическим выводам приводит исследование идеальной тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно, и какие результаты получаются, если тепловая машина работает по обратному циклу Карно.

При абсолютном нуле всякое тело (как правило) находится в основном состоянии и тогда *энтропия всякого тела стремится к нулю при стремлении к нулю температуры*  $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$ . Это утверждение

$$T \rightarrow 0$$

составляет содержание теоремы *Нернста*, которое иногда называют *третьим началом термодинамики*.

Все расчеты в термодинамике основываются на использовании функций состояния – *термодинамические потенциалы*. Каждому набору независимых параметров соответствует свой термодинамический потенциал. Таким потенциалом являются: *внутренняя энергия*  $dU = TdS - pdV$ , *свободная энергия*  $F = U - TS$ , *энтальпия*  $H = U + pV$ , *термодинамический потенциал Гиббса*  $G = U - TS = U + pV - TS$ .

### Вопросы для самопроверки

1. Что утверждает первый закон термодинамики? Напишите его уравнение в общем виде и для изохорического процесса.
2. Какой процесс называется адиабатическим, и каким уравнением он описывается?
3. Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем при  $V = \text{const}$ ?
4. Какие процессы называются политропными? Напишите общее уравнение политропного процесса
5. Какие процессы называются обратимыми и какие необратимыми?
6. Что утверждает второй закон термодинамики?
7. Какие принципы положены в основу термодинамической (абсолютной) шкалы температуры?

8. Если  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии идеального газа,  $A$  – работа газа,  $Q$  – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изобарного охлаждения газа справедливы соотношения...

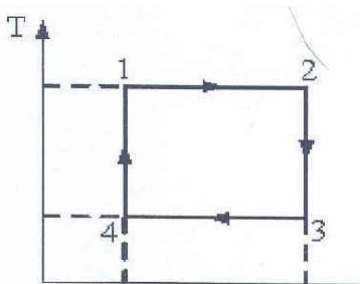
Варианты ответов:  
 $Q < 0; A < 0; \Delta U < 0;$   
 $Q = 0; A > 0; \Delta U < 0;$   
 $Q < 0; A < 0; \Delta U = 0;$   
 $Q < 0; A = 0; \Delta U < 0.$

9. Если  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии идеального газа,  $A$  – работа газа,  $Q$  – количество теплоты, сообщаемое газу, то для изобарного нагревания газа справедливы соотношения...

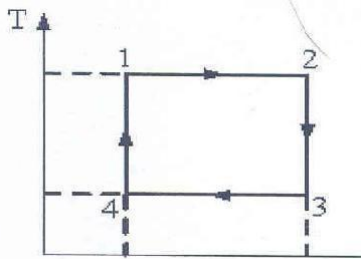
$Q > 0; A = 0; \Delta U > 0;$   
 $Q > 0; A > 0; \Delta U = 0;$   
 $Q > 0; A > 0; \Delta U > 0;$   
 $Q = 0; A < 0; \Delta U > 0.$

10. На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Изотермическое расширение происходит на этапе...

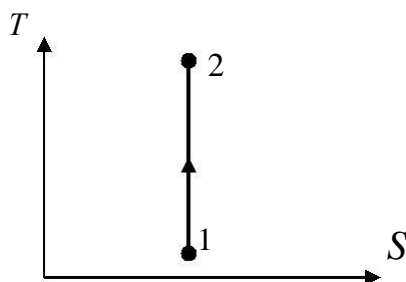
2–3  
 3–4  
 4–1  
 1–2



11. На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатическое сжатие происходит на этапе...



12. Процесс, изображенный на рисунке в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия, является...



3–4

4–1

2–3

1–2

изотермическим расширением;  
адиабатическим сжатием;  
изохорным нагреванием;  
изобарным расширением

### 3.3. Некоторые свойства кристаллов

Иметь ясное представление о различиях в строении кристаллических и аморфных твердых тел. Монокристаллы и поликристаллы. Большинство технических материалов являются поликристаллами (мелкокристаллические агрегаты).

Иметь понятия: симметрия тела, элементы симметрии, группы Федорова, кристаллографическая система (сингония), объемно-центрированная и гранецентрированная решетки. Знать физические типы решеток в зависимости от характера сил взаимодействия между структурными частицами в решетке.

Уделить внимание механическим свойствам твердых тел. Уяснить сущность закона Гука (закона упругой деформации), а также закон Гука для основных видов упругих деформаций (одностороннее растяжение, всестороннее сжатие, сдвиг). Знать смысл модуля Юнга, модуля объемной деформации, модуль сдвига.

Иметь понятие о *молекулярных силах* и их особенностях. На знании примерного характера взаимодействия между структурными частицами сил отталкивания и притяжения построить потенциальную кривую взаимодействия частиц.

### Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается структура кристаллических тел и структура аморфных тел?
  2. Дайте понятия: монокристалл, поликристалл. Размеры кристаллитов в поликристаллах металлов.
  3. Почему кристалл обладает симметрией?
  4. В чем заключается свойство симметрии кристалла.
  5. Что представляют собой структурные частицы решетки кристаллов.
  6. На какие кристаллографические системы делятся кристаллы по форме элементарной ячейке? Дайте понятие *элементарная ячейка*.
  7. Виды упругих деформаций.
  8. Что устанавливает коэффициент Пуассона?
- $\frac{\Delta l}{l}$
9. Вид экспериментальной зависимости относительной деформации  $l$  от напряжения  $p$ .
  10. Суть закона Дюлонга и Пти.

### 3.4. Примеры решения задач

**Задача 1.** В баллоне объемом  $V = 10$  л находится гелий под давлением  $p_1 = 1$  МПа и при температуре  $T_1 = 300$  К. После того, как из баллона было взято  $m = 10$  г гелия, температура в баллоне понизилась до  $T_2 = 290$  К. Определить давление гелия, оставшегося в баллоне.

$$\begin{array}{l}
 p_2 = ? \\
 \hline
 V = 10^{-2} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \\
 p_1 = 10^6 \text{ Па} \\
 T_1 = 300 \text{ К} \\
 \Delta m = 10^{-2} \text{ кг} \\
 T_2 = 290 \text{ К} \\
 M_{\text{He}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}
 \end{array}$$

#### Решение

Применим уравнение состояния идеального газа к конечному состоянию газа

$$p_2 \cdot V = \frac{m_2}{M} RT_2, \quad (1)$$

чтобы выразить искомое давление  $p_2$ :

$$p_2 = \frac{m_2}{M} \cdot \frac{RT_2}{V}. \quad (2)$$

Массу, оставшегося в баллоне газа, выразим так:

$m_2 = m_1 - \Delta m.$  (3) Массу гелия  $m_1$ , найдем из уравнения состояния, применив его к начальному состоянию:

$$m_1 = \frac{M \cdot p_1 \cdot V}{R \cdot T_1}. \quad (4)$$



Подставив в выражение (3) массу  $m_1$  выражения (4), а затем полученное выражение в формулу (2), найдем  $p_2$ :

$$p_2 = \left( \frac{M \cdot p_1 \cdot V}{R \cdot T_1} - \frac{\Delta m}{M \cdot V} \right) \cdot \frac{R \cdot T_2}{M}$$

или после преобразования и сокращения:

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot p_1 - \frac{\Delta m}{M} \cdot \frac{R \cdot T_2}{V} \quad (5)$$

Проверим размерность в выражении (5). В правой части формулы два слагаемых. Очевидно, что первое из них дает единицу давления. Проверим второе слагаемое

$$p = \frac{\text{кг}}{\text{кг/моль}} \times \frac{\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot \text{К}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{м}^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$= \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Подставляя числовые данные, получим

$$p_2 = \left( \frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2} \cdot 8,31}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 290 \right) \cdot 10^{-5} = 3,64 \cdot 10^5 = 0,364 \text{ МПа}.$$

Ответ:  $p_2 = 0,364 \text{ МПа}$ .

**Задача 2.** Чему равны средние кинетические энергии поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 4 кг кислорода при температуре минус 73 °С?

$E_{\text{пост.}} = ?$   $E_{\text{вр.}} = ?$

$m = 4 \text{ кг}$

$T = 200 \text{ К}$

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

$O_2$

**Решение**

Считаем кислород идеальным газом.

Молекула кислорода – двухатомная, связь между атомами считаем жесткой.

В среднем на одну степень свободы приходится энергия  $\langle E_i \rangle = 1/2 k \cdot T$ , где  $k$  – постоянная Больцмана.

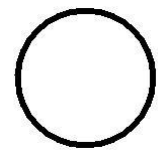
Поступательному движению приписывается три ( $i = 3$ ), а вращательному две ( $i = 2$ ) степени свободы. Тогда энергия одной молекулы:

$\langle E_{\text{пост.}} \rangle = 3/2 k \cdot T$ ,  $\langle E_{\text{вр.}} \rangle = k \cdot T$ .

Число молекул, содержащихся в массе газа

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

где  $N_A$  – постоянная Авогадро.



Тогда средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул кислорода

$$E_{\text{пост.}} = \frac{m \cdot N_A \cdot kT}{M} = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot RT,$$

где  $R = kN_A$  – универсальная газовая постоянная.

Средняя кинетическая энергия вращательного движения молекул кислорода  $E_{\text{вр.}} = \frac{m}{M} \cdot RT.$

Подставляя числовые значения, имеем

$$E_{\text{пост.}} = 3 \cdot 4 \cdot 8,31 \cdot 200 = 3,12 \cdot 10^5 \text{ (Дж)};$$

$$E_{\text{вр.}} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 200 = 2,08 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

Проверяем размерность

$$\langle E_{\text{пост.}} \rangle = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot \text{К}}{\text{кг/моль}} = \text{Дж};$$

$$\langle E_{\text{вр.}} \rangle = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot \text{К}}{\text{кг/моль}} = \text{Дж}.$$

$$\text{Ответ: } \langle E_{\text{пост.}} \rangle = 3,12 \cdot 10^5 \text{ (Дж)};$$

$$\langle E_{\text{вр.}} \rangle = 2,08 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

**Задача 3.** Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении от 300 до 310 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

$$Q=? \Delta U=? A=?$$

$$m = 0,32 \text{ кг}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 310 \text{ К}$$

$$R = 8,31$$

$$\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

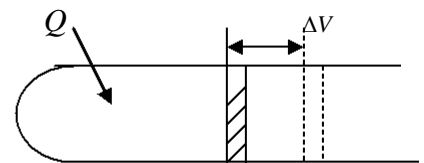
$$M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$O_2$

### Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при  $p = \text{const}$ :

$$Q = \frac{m}{M} \cdot C_p \cdot \Delta T.$$



(1)

Для всех двухатомных газов (с жесткой связью)

$$C_p = \frac{i+2}{2} \cdot R = \frac{5+2}{2} \cdot R = \frac{7}{2} \cdot R = \frac{7}{2} \cdot 8,31 = 29,1 \text{ [Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})].$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{m}{M} \cdot C_v \cdot \Delta T. \quad (2)$$

$M$

Для всех двухатомных газов (с жесткой связью)  $i = 5$ , а

$$C_V = \frac{i}{2} \cdot R = \frac{5}{2} \cdot R = 2 \cdot 8,31 = 20,8 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{К)]}.$$

Работа расширения газа при  $p = \text{const}$  равна:  $A = p \cdot \Delta V$ , где  $\Delta V = V_2 - V_1$  – изменение объема газа, которое можно найти по уравнению Клайперона–Менделеева. При  $p = \text{const}$

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1, \quad (3)$$

$$pV_2 = \frac{m}{M} RT_2. \quad (4)$$

Вычитая (4) из (3), находим:  $p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ .

$$\text{Следовательно, } A = \frac{m}{M} \cdot R \cdot (T_2 - T_1). \quad (5)$$

Подставив значения в формулы (1), (2), (5), получим:

$$Q = \frac{0,32}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 29,1 \cdot 10 = 2910 \text{ (Дж)},$$

$$\Delta U = \frac{0,32}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 20,8 \cdot 10 = 2080 \text{ (Дж)},$$

$$A = \frac{0,32}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 10 = 830 \text{ (Дж)}.$$

**Ответ:**  $Q = 2910$  Дж,

$$U = 2080 \text{ Дж},$$

$$A = 830 \text{ Дж}$$

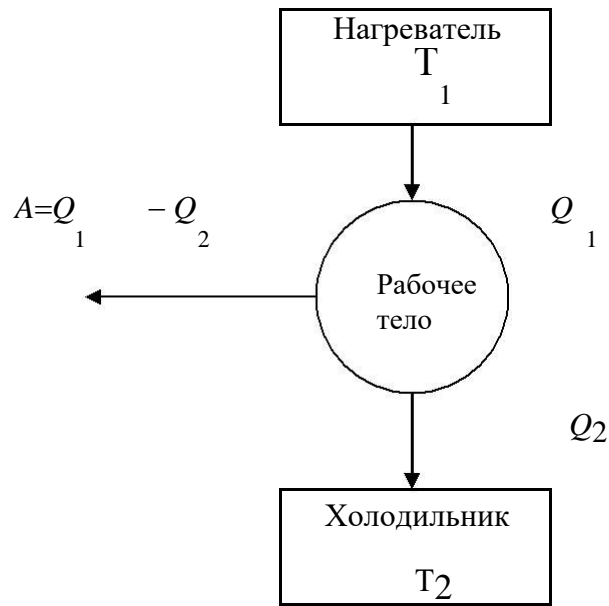
**Задача 4.** Идеальная тепловая машина за один цикл Карно получила от нагревателя  $8 \cdot 10^4$  Дж. Чему равна полезная работа, совершенная машиной, если температура холодильника равна  $27^\circ \text{C}$ , а нагревателя  $227^\circ \text{C}$ ?

$A_{\text{цикл.}} = ? \quad \eta = ?$

$$Q_1 = 8 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

$$T_1 = 500 \text{ К}$$

$$T_2 = 300 \text{ К}$$



### Решение

КПД машины  $\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ , или  $\varepsilon = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$ .

С помощью второй формулы можно найти полезную работу:

$$A = \varepsilon \cdot Q_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1$$

Произведем вычисления:  $\varepsilon = \frac{500 - 300}{500} = 0,4$ ;

$$A = 0,4 \cdot 8 \cdot 10^4 = 3,2 \cdot 10^4 \text{ (Дж)}.$$

Эта работа производится за один цикл Карно.

**Ответ:**  $\eta = 0,4$ ;

$$A_{\text{цикл.}} = 3,2 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$



## 4. ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК

### 4.1. Электростатика в вакууме и веществе

Исходным в разделе являются понятия об электрических зарядах и электростатическом поле, посредством которого осуществляется взаимодействие этих зарядов. Тема «Электрическое поле в вакууме» является фундаментом раздела, включающего электростатику и постоянный ток.

Особое внимание при изучении этого раздела следует обратить внимание на закон сохранения электрического заряда, на силовую и энергетические характеристики поля (напряженность, потенциал) и связь между ними.

Основу количественных расчетов составляет закон Кулона, который нужно уметь четко сформулировать, и попутно с ним вводятся системы единиц СИ и СГС в электростатике. Обязательной является формулировка принципа суперпозиции полей (в вакууме). Студент должен уметь применять теорему Гаусса для вычисления напряженности электрических полей и уяснить такие понятия, как поток и циркуляция вектора напряженности.

О механизме поляризации диэлектриков достаточно иметь качественное представление.

Важно разобрать частный случай в однородном диэлектрике и уяснить физический смысл диэлектрической проницаемости. Далее

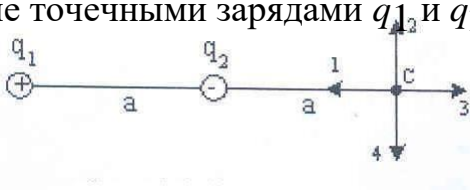
определяется вектор индукции посредством формулы  $D = \epsilon_0 \epsilon E$ , справедливой во всех случаях, и его поток через бесконечно малую площадку и замкнутую поверхность.

После изучения вопроса об электростатическом поле в металлических проводниках вводится понятие емкости уединенного проводника и конденсатора и единица ее измерения (фарада).

При изучении вопроса об энергии заряженных проводников и конденсаторов обратить внимание, что в рамках электростатики нельзя однозначно решить вопрос о локализации этой энергии. С равным правом можно считать, что энергией обладают как заряженные проводники, так и создаваемое ими электрическое поле.

## Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте закон сохранения заряда.
2. Каков физический смысл коэффициента  $k$  в законе Кулона? Каково его значение в системе СИ?
3. Что такое «точечный заряд»? «Пробный заряд»?
4. Что такое напряженность электрического поля?
5. В чем состоит принцип суперпозиции полей?
6. Какое свойство электростатического поля дает возможность ввести понятие потенциала?
7. Чему равен поток вектора  $E$  через замкнутую поверхность, если внутри замкнутой поверхности нет зарядов?
8. Какой угол образуют линии напряженности с эквипотенциальной линией?
9. В чем состоит явление поляризации диэлектрика?
10. Почему диэлектрики уменьшают силу взаимодействия между заряженными телами?
11. Какая связь между  $D$  и  $E$  ?
12. Как называются заряды, которые имеются в диэлектрике?
13. Дайте определение емкости в 1 Фараду.
14. Почему емкость проводника увеличивается, если к нему прибавить диэлектрик?
15. Как изменится емкость проводника, если к нему приблизить другой проводник?
16. От чего зависит энергия электрического поля?
17. Можно ли создать или уничтожить электрический заряд? Почему? Объяснить сущность закона сохранения зарядов.
18. Что такое поле? Что такое электрическое поле?
19. Металлическому шару радиусом  $R = 10$  Ом сообщен заряд  $- 12,56 \cdot 10^{-8}$  Кл. Определить поверхностную плотность заряда  $\sigma$  .
20. Какие заряды перемещаются в электрическом поле от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом и какие, наоборот, от точек с меньшим потенциалом к точкам с большим потенциалом?
21. Почему ионы являются центрами конденсации водяных паров?
22. Почему в проводнике, помещенном в электрическое поле, отсутствует поле?
23. Почему к наэлектризованному телу притягиваются мелкие частички материалов?
24. Обладает ли незаряженный проводник емкостью?
25. Электрическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .



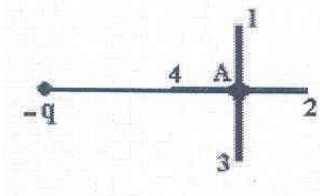
Варианты  
ответов:

Если  $q_1 = +q$ ,  $q_2 = -q$ , а расстояние между зарядами и от  $q_2$  до точки  $C$  равно  $a$ , то вектор напряженности поля в точке  $C$  ориентирован в направлении...

1  
3  
4  
2

26. Поле создано точечным зарядом  $q$ . Укажите направление вектора градиента потенциала в точке  $A$ .

A-1  
A-2  
A-4  
A-3



## 4.2. Постоянный ток

Успешное изучение темы «Постоянный электрический ток» зависит от степени усвоения раздела «Электростатика», так как необходимо уяснить следующее:

– условие стационарности тока проводимости в металлическом проводнике (поток электронов)  $j = \text{const}$  выполняется тогда, когда  $E = \text{const}$  (постоянство напряженности поля во времени во всех точках проводника). Есть аналогия со стационарным потоком жидкости;

– что понимается под линейным проводником и силой тока через какое-либо его поперечное сечение; при этом следует обратить внимание на то, что сила тока одинакова для всех сечений из-за невозможности

накапливания зарядов в каких-либо участках проводника. Закон Ома формулируется как опытный закон, устанавливающий

зависимость между разностью потенциалов (напряжением) на концах проводника и силой тока в нем (при постоянной температуре проводника). Понятие сопротивления вводится попутно с законом Ома. Законы Ома и Джоуля–Ленца полезно рассмотреть с позиций классической электронной теории проводимости металлов. Четко разграничить такие понятия, как разность потенциалов, электродвижущая сила и электрическое напряжение. Необходимо знать законы Ома и Джоуля–Ленца в

дифференциальной форме. Рассматривая замкнутую цепь, нужно дать определение ЭДС

источника тока как его энергетической характеристики, не вдаваясь в суть процессов, происходящих в самом источнике. Чтобы применять к решению задач обобщенный закон Ома и законы

Кирхгофа, необходимо твердо усвоить правило знаков для ЭДС и падений напряжения.

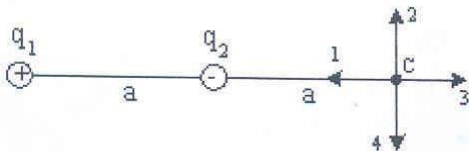
Для понимания механизма проводимости в металлах и полупроводниках следует познакомиться с элементами зонной теории твердого тела.

Разобраться с причинами возникновения контактной разности потенциалов и в сущности термодинамических явлений Зеебека, Пельтье, Томсона.

### Вопросы для самопроверки

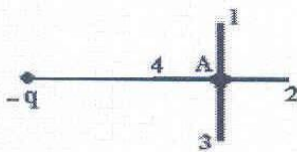
1. Дайте определение постоянного электрического тока.
2. Поясните физический смысл электродвижущей силы и напряжения.
3. Сформулируйте закон Ома для плотности тока и закон Джоуля–Ленца для плотности тепловой мощности.
4. В чем состоит закон Ома для участка цепи, для всей цепи?
5. В чем состоит явление сверхпроводимости?
6. В чем принципиальная разница в характере проводимости металлов и полупроводников?
7. Объясните, как образуются полупроводники с  $p$ - или  $n$ -проводимостью, а также принцип действия полупроводниковых диодов, триодов, термисторов, фотосопротивлений.
8. Какой вид разрядов имеет место в рекламных трубках?
9. Электрическое поле создано одинаковыми по

величине точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .



Если  $q_1 = +q$ ,  $q_2 = -q$ , а расстояние между зарядами и от  $q_2$  до точки  $C$  равно  $a$ , то вектор напряженности поля в точке  $C$  ориентирован в направлении...

10. Поле создано точечным зарядом  $q$ . Укажите направление вектора градиента потенциала в точке  $A$ .

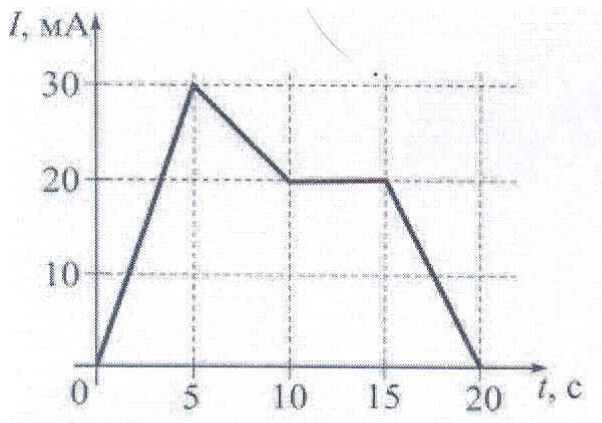


11. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени.

Варианты  
ответов:

1  
3  
4  
2

A-1  
A-2  
A-4  
A-3



250 мКл  
200 мКл  
450 мКл

Заряд, прошедший по проводнику в интервале времени от 5 до 15 с, равен...

### 4.3. Примеры решения задач

**Задача 1.** Два равных отрицательных заряда по 9 нКл находятся в воде на расстоянии 8 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля в точке, расположенной на расстоянии 5 см от зарядов.

$E = ?$

$\varphi = ?$

$$q_1 = q_2 = -9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\varepsilon = 81$$

$$r_0 = 0,08 \text{ м}$$

$$r_1 = r_2 = 0,05 \text{ м}$$

#### Решение

Напряженность поля, создаваемого в точке  $A$  зарядами  $q_1$  и  $q_2$  по принципу суперпозиции полей, равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждым из зарядов:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1)$$

По теореме косинусов

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

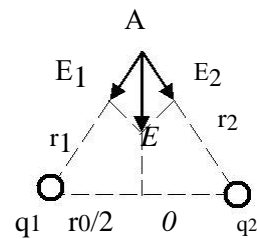
Напряженность поля точечного заряда  $q$ :

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

$r$  – расстояние от заряда до точки поля, в которой определяется его напряженность.



Заряды  $q_1$  и  $q_2$  отрицательные, следовательно, векторы  $E_1$  и  $E_2$  направлены по линиям напряженности к зарядам. По условию задачи, заряды  $q_1 = q_2$  расположены на одинаковом расстоянии от точки А, поэтому  $E_1 = E_2$ .

Следовательно, формула (2) примет вид  $E = 2E_1 \cdot \cos\alpha$ , где

$$\cos\alpha = \frac{h}{r_1}, h = OA = r \sqrt{\frac{2}{r_1^2} - \frac{1}{r^2}},$$

$$h = \sqrt{(5 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2 - (4 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Тогда напряженность в точке А:  $E = \frac{2q_1 h}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$ ,

$$E = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{4 \cdot 3,14 \cdot 81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot (0,005)^2 \text{ м}^2} = 480 \text{ В/м}.$$

Потенциал  $\varphi$ , создаваемый системой точечных зарядов в данной точке поля, равен алгебраической сумме

потенциалов, создаваемых каждым из зарядов  $\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$ .

Потенциал  $\varphi$  результирующего поля в точке А равен

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

Потенциал поля, создаваемый точечным зарядом

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r}.$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2} = \frac{2q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1}.$$

$$\varphi = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{4 \cdot 3,14 \cdot 81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = -40 \text{ В}.$$

**Ответ:**  $E = 480 \text{ В/м}$ ,  $\varphi = -40 \text{ В}$ .

**Задача 2.** В медном проводнике сечением  $6 \text{ мм}^2$  и длиной  $5 \text{ м}$  течет ток. За  $1 \text{ мин}$  в проводнике выделяется  $18 \text{ Дж}$  теплоты. Определить напряженность поля, плотность и силу электрического тока в проводнике.

$E = ?$

$j = ?$

$I = ?$

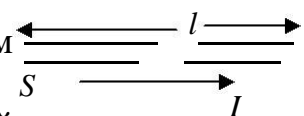
$$S = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

### Решение

Для решения задачи используем законы Ома и Джоуля–Ленца.

Закон Ома в дифференциальной

форме имеет вид  $j = \lambda \cdot E$ ,



(1)

$$\begin{aligned} \ell &= 5 \text{ м} \\ &= 60 \text{ с} \cdot Q \\ &= 18 \text{ Дж} \\ \rho &= 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

где  $j$  – плотность тока;  $E$  – напряженность поля;  
 $\lambda$  – удельная проводимость.

$$\text{Закон Джоуля–Ленца } Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (2)$$

где  $I$  – сила тока;  $t$  – время;  $R$  – сопротивление проводника.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (3)$$

где  $\rho$ ,  $S$  – удельное сопротивление, длина и площадь поперечного сечения проводника соответственно.

Силу тока  $I$  находим из выражения (2) с учетом (3):

$$I = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot t}} = \sqrt{\frac{Q \cdot S}{\rho \cdot l \cdot t}}$$

$$I = \sqrt{\frac{18 \text{ Дж} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 5 \text{ м} \cdot 60 \text{ с}}} = 4,6 \text{ А}.$$

По определению, плотность тока  $j = I / S$ ,

$$j = \frac{4,6 \text{ А}}{6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 7,7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2.$$

учитывая, что  $\lambda = \frac{1}{\rho}$ ,  $\rightarrow E = j \cdot \rho$ ,

$$E = 7,7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}.$$

$$\text{Ответ: } E = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}, I = 4,6 \text{ А}, j = 7,7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2.$$

**Задача 3.** Два элемента с одинаковыми ЭДС  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 1 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 2 \text{ Ом}$  замкнуты на внешнее сопротивление  $R$ . Через элемент  $\mathcal{E}_1$  течет ток  $I_1 = 1 \text{ А}$ . Найти сопротивление  $R$  и токи, текущие через элемент  $\mathcal{E}_2$  и сопротивление  $R$ .

$$R = ?$$

$$I_2 = ?$$

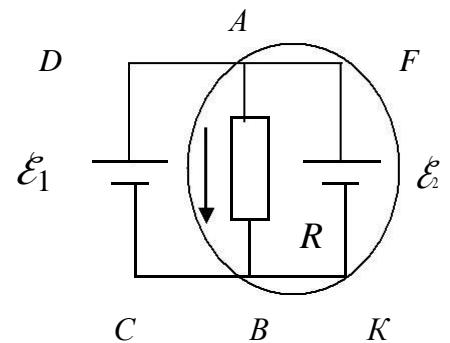
$$I_R = ?$$

$$\mathcal{E}_1 = 2 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2 = 2 \text{ В} \quad r_1 = 1 \text{ Ом}$$

### Решение

Для расчета разветвленных цепей применяются законы (правила) Кирхгофа. Выберем произвольное направление токов, как они показаны на рисунке, и условимся обходить контуры по направлению тока (обход указан стрелкой).



$$r_2 = 2 \text{ Ом}$$

$$I_1 = 1 \text{ А}$$

По первому закону Кирхгофа для узла  $A$  имеем  $I_1 + I_2 - I_R = 0$ . По второму закону Кирхгофа для контура  $ABCD$  запишем

$$I_1 \cdot r_1 + I_R \cdot R = \mathcal{E}_1.$$

Соответственно для контура  $ABKF$ :  $I_2 \cdot r_2 + I_2 \cdot R = \mathcal{E}_2$ .

Подставим численные значения и запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1 \cdot r_1 + I_R \cdot R = \mathcal{E}_1 & (1) \\ I_2 \cdot r_2 + I_2 \cdot R = \mathcal{E}_2 & (2) \\ I_1 + I_2 - I_R = 0 & (3) \end{cases}$$

Вычтем из уравнения (2) уравнение (3) и найдем  $I_2$

$$1 - 2 \cdot I_2 = 0, I_2 = 0,5 \text{ А}.$$

Подставим  $I_2$  в уравнение (1) и найдем  $I_R$ :  $I_R = 1,5 \text{ А}$ . Из

$$\text{уравнения (2) найдем величину } R. R = \frac{\mathcal{E}_2}{I_2} - r_2 = \frac{2}{0,5} - 2 = 2 \text{ Ом}.$$

3

## 5. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### 5.1. Магнитостатика в вакууме и веществе

Изучаются свойства и характеристики магнитного поля, посредством которого осуществляется взаимодействие между движущимися электрическими зарядами – токами. Основным здесь является закон Ампера в дифференциальной форме для силы, которая действует на элемент тока ( $I \cdot dl$ ) со стороны магнитного поля; тут же

вводится и силовая характеристика поля – индукция магнитного поля  $\vec{B}$ . Наряду с магнитной индукцией  $\vec{B}$  вводится другая векторная характеристика магнитного поля – напряженность магнитного поля  $\vec{H}$ , связанная с  $\vec{B}$  для однородного магнетика следующим соотношением:

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

Знать и уметь применять закон Био–Савара для расчета магнитной индукции или напряженности магнитного поля прямолинейного и кругового токов, а также закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для расчета магнитного поля тороида и длинного соленоида.

Важным вопросом является магнитное взаимодействие параллельных токов, на основании которого дается определение единицы силы тока – ампер (А).

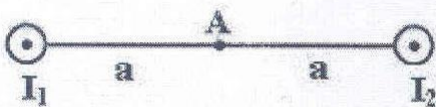


При изучении вопроса, связанного с действием магнитного поля на движущиеся заряды, нужно уметь применять формулу силы Лоренца, определять направление движения заряженных частиц в магнитном поле, а также определять работу перемещения проводника и контура с током в магнитном поле.

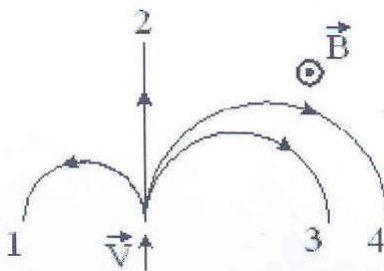
### Вопросы для самопроверки

1. Какова природа магнитного поля?
2. Какое поле создает движущийся электрический заряд?
3. В чем состоит закон Ампера? Какова особенность сил электромагнитного взаимодействия?
4. Дайте определение индукции магнитного поля.
5. В чем состоит закон Био–Савара?
6. Какая величина называется магнитной постоянной  $\mu_0$  и чему она равна в системе СИ?
7. Какая сила действует на движущийся электрический заряд в магнитном поле? Чему она равна и как направлена?
8. Что вы знаете о периоде кругообразного движения заряженных частиц в магнитном поле?
9. Почему гибкий, замкнутый в форме петли подвижный проводник, по которому идет ток, стремится принять форму кольца, даже если он не находится в магнитном поле?
10. Перечислите основные свойства магнитного поля.
11. Магнитное поле создано двумя параллельными

длинными проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , расположенными перпендикулярно плоскости чертежа. Если  $I_1 = 2 I_2$ , то вектор В индукции результирующего поля в точке А направлен...



12. На рисунке указаны траектории заряженных частиц, имеющих одинаковую скорость и влетающих в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости чертежа. При этом для частицы 4...



Варианты  
ответов:

- вниз
- вверх
- влево
- вправо

- $q < 0$
- $q = 0$
- $q > 0$

## 5.2. Электромагнитная индукция

При изучении явления электромагнитной индукции необходимо усвоить, что механизм возникновения ЭДС индукции имеет электронный характер. Закон Фарадея–Максвелла формулируется качественно и количественно для замкнутого контура вместе с правилом Ленца, определяющим направление ЭДС индукции  $E_i$ .

Обязательно разобрать явление самоиндукции и взаимной индукции как частный случай явления электромагнитной индукции. Привести примеры, имеющие практическое значение (генератор переменного тока, трансформатор). На примере соленоида следует рассмотреть вопрос об энергии магнитного поля.

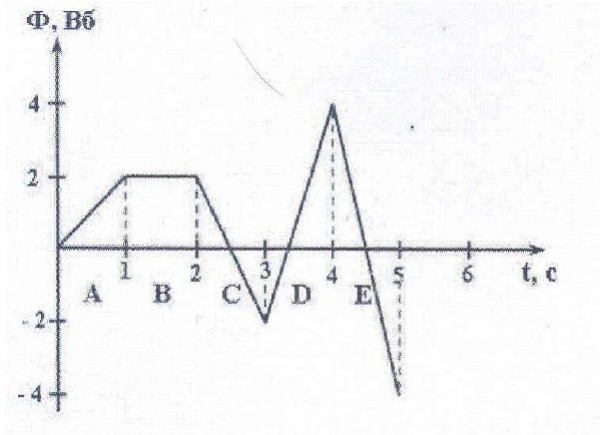
Изучение магнитных свойств веществ в основном носит описательный характер. Изучая магнитное поле в веществе (которое является вихревым), следует помнить, что в зависимости от магнитной проницаемости  $\mu$  все вещества делятся на три группы: диа-, пара- и ферромагнетики. Механизм намагничивания вещества достаточно уяснить с качественной стороны.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит явление электромагнитной индукции? Опишите опыты Фарадея.
2. Определите по правилу Ленца направление ЭДС индукции, наводимой в круговом контуре при приближении к нему северного полюса постоянного магнита.
3. Что называется явлением самоиндукции?
4. Возникает ли ЭДС самоиндукции в катушке, по которой проходит переменный ток? Почему?
5. Какова причина возникновения экстратоков замыкания и размыкания?
6. Каков физический смысл индуктивности?
7. Как изменится энергия магнитного поля соленоида, если вставить в него железный сердечник, не меняя тока в витках?
8. Какие токи называются токами Фуко? Возникнет ли индукционный ток в незамкнутом (замкнутом) проводящем контуре, пересекаемом переменным магнитным полем?
9. Приведите примеры диа-, пара- и ферромагнетиков. Какова для них магнитная проницаемость  $\mu$ ?
10. Что такое доменная структура ферромагнетиков?
11. В чем заключается явление магнитного гистерезиса и что такое коэрцитивная сила  $H_c$ ?
12. Диамагнитный эффект возникает во всех веществах. Почему?

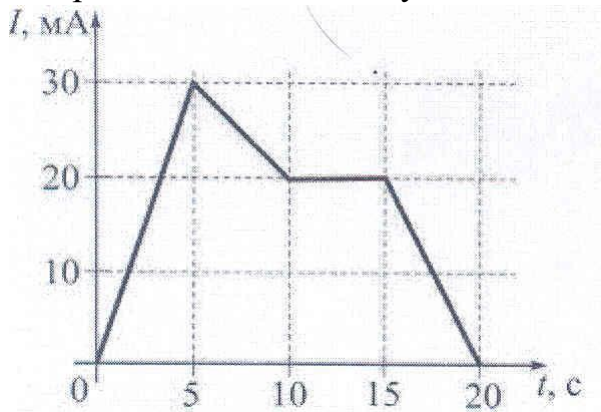
13. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре:

- а) по модулю максимальна на интервале...  
 б) не возникает на интервале...



- |    |    |
|----|----|
| а) | б) |
| В  | Е  |
| А  | Д  |
| Д  | В  |
| Е  | С  |
| С  | А  |

14. На рисунке показана зависимость силы тока от времени в электрической цепи с индуктивностью 1 мГн.



Модуль среднего значения ЭДС самоиндукции на интервале от 5 до 10 с (в мкВ) равен...

- 20  
2  
10  
0

### 5.3. Физические основы переменного тока (квазистационарные токи)

Для уяснения физических основ переменного тока удобно рассмотреть вращение прямоугольной рамки в однородном магнитном поле. Магнитный поток через рамку изменяется по закону  $\Phi = BS \cos \varphi = BS \cos \omega t$ .

По закону Фарадея, в рамке возникает периодически изменяющаяся

ЭДС индукция  $\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \cdot \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ , где  $\mathcal{E}_m = BS\omega$  — амплитуда ЭДС индукции.

Эта ЭДС создает в контуре синусоидальный ток

$$I = \mathcal{E}_i / R_0 = \mathcal{E}_m / R_0 \sin \omega t = I_0 \sin \omega t .$$

С помощью векторной диаграммы можно получить закон Ома для цепи переменного тока

$$I_m = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}} \text{, откуда}$$

$$Z = \frac{U}{I_m} = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} \text{ -- закон Ома для переменного тока.}$$

Эти формулы относятся только к *амплитудам*, но не к мгновенным значениям напряжения и тока.

### Вопросы для самопроверки

1. Какой ток называется постоянным? Переменным? Пульсирующим?
2. Какой переменный ток называется синусоидальным?
3. В проводнике, по которому проходит переменный ток, возникают вынужденные колебания свободных электронов. Какая периодическая сила вызывает эти колебания?
4. Какое сопротивление называется активным? Реактивным?
5. Почему металлы отражают и поглощают электромагнитные волны?

## 5.4. Электромагнитные колебания и волны.

### Уравнения Максвелла

При изучении темы «Колебания» следует параллельно рассматривать механические и электромагнитные колебания, что способствует выработке единого подхода к колебаниям различной физической природы. Следует повторить из механики все, что относится к гармоническому колебательному движению, чтобы четко уяснить понятия *фазы, разности фаз, амплитуды, частоты, периода колебаний*, и там, где необходимо, использовать графический метод представления гармонического колебания. Затем нужно уяснить понятие *синусоидальной волны* как такого процесса, когда изменение какой-либо физической величины (по закону синуса) передается от точки к точке среды. Любые колебания линейной системы всегда можно представить в виде суперпозиции одновременно совершающихся гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и начальными фазами.

Электромагнитные колебания рассматриваются для случая разряда конденсатора на индуктивность при исчезающе малом сопротивлении (закрытый колебательный контур).

Рекомендуется разобраться в том, как составляется дифференциальное уравнение колебаний на основе обобщенного закона Ома. Необходимо знать решение этого уравнения, выражение частоты собственных колебаний через параметры контура и характер превращений энергии в нем.

Следует рассмотреть способы получения в контуре незатухающих колебаний. Нужно иметь ясное представление о структуре электромагнитной волны, знать, как ориентированы по отношению друг к другу направления распространения волны и вектора напряженности электрического и магнитного полей и знать об энергии, переносимой электромагнитной волной (вектор Умова–Пойнтинга).

Без вывода дается формула для скорости распространения волны в однородной среде.

Следует получить представление о всей шкале электромагнитных волн (радиоволны, инфракрасные, видимые, ультрафиолетовые, рентгеновские,  $\gamma$ -излучение) и знать диапазоны длин волн излучений.

Всестороннее истолкование явления электромагнитной индукции привело к выводу, выражающему первое основное положение теории Максвелла: *всякое изменение магнитного поля вызывает появление вихревого электрического поля*

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\oint_l E dl . \quad (1)$$

Анализируя различные электромагнитные явления, Максвелл пришел к заключению, что *всякое изменение электрического поля вызывает появление вихревого магнитного поля* (второе основное положение теории Максвелла)

$$\oint_l B dl = \int j ds = I + I_{\text{см}} . \quad (2)$$

Открытие тока смещения  $I_{\text{см}}$  позволило Максвеллу создать единую теорию электрических и магнитных явлений. Основным следствием теории был вывод о существовании электромагнитных волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света ( $3 \cdot 10^8$  м/с).

Основу теории электромагнитного поля образуют уравнения Максвелла. За основные принимаются следующие уравнения (*полная система уравнений для электромагнитного поля*):

$$\oint_l E dl = -\int_S \frac{dD}{dt} dS ; \quad (3)$$

$$\oint_L H dl = \int_S (j + \frac{dD}{dt}) dS ; \quad (4)$$

$$\oint_S D dS = \int_Y \rho dY ; \quad (5)$$

$$\oint_S B dS = 0 . \quad (6)$$

(3) и (4) – первое и второе основные положения теории, (5) и (6) утверждают о существовании электрических зарядов, порождающих поток индукции электрического поля и отсутствие магнитных зарядов (монополий) или магнитных масс (вихревое поле), но существование магнитного потока.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит закон Ампера? Какова особенность сил электромагнитного взаимодействия?
2. Дайте определение вектора индукции магнитного поля.
3. В чем суть закона Био–Савара–Лапласа?
4. Какая величина называется магнитной постоянной  $\mu_0$  и чему она равна в системе СИ? Почему  $\mu_0$  появляется в системе СИ?
5. Какая сила действует на движущийся электрический заряд?
6. Материальная точка совершает гармонические *Варианты* колебания с амплитудой  $A = 4$  см и периодом  $T = 2$  с. *ответов:*  
 Если смещение точки в момент времени, принятый за начальный, равно своему максимальному значению, то точка колеблется в соответствии с уравнением (в СИ)...
 

$x = 0,04 \sin \pi t$
$x = 0,04 \cos \pi t$
$x = 0,04 \sin 2t$
$x = 0,04 \cos 2t$
7. При увеличении в 2 раза амплитуды колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей плотность потока энергии...
 

останется
неизменной;
увеличится в 4 раза;
увеличится в 2 раза.
8. Какую роль выполняют катушка индуктивности и конденсатор в колебательном контуре?

## 5.5. Примеры решения задач

**Задача 1.** Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут в одном направлении электрические токи силой  $I = 60$  А, расположены на расстоянии  $d = 10$  см друг от друга. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого проводниками, с током в точке  $A$ , отстоящей от оси одного проводника на расстояние  $r_1 = 5$  см, от другого  $r_2 = 12$  см.

$\vec{B}_A = ?$

$I_1 = I_2 = 60$  А

$d = 10$  см

$r_1 = 5$  см

$r_2 = 12$  см

### Решение

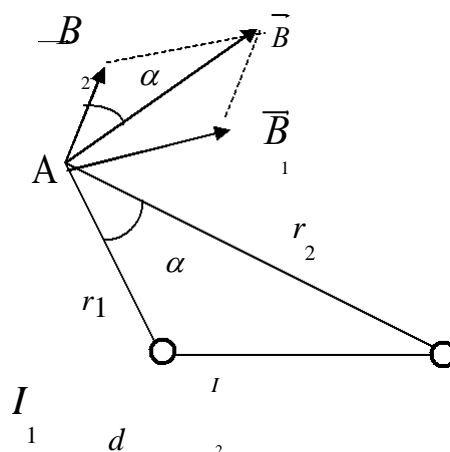
Для нахождения магнитной индукции  $B$  в точке  $A$  воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей.

Для этого определим направления магнитной индукции  $B_1$  и  $B_2$  —

полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их

геометрически  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ ,

абсолютное значение магнитной индукции  $B$  найдем по теореме косинусов:



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

где  $\alpha$  — угол между векторами  $B_1$  и  $B_2$ .

Значения  $B_1$  и  $B_2$  найдем по формулам  $B_1 = \mu_0 I / 2\pi \cdot r_1$ ;  $B_2 = \mu_0 I / 2\pi \cdot r_2$ .

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

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

Для вычисления  $\cos \alpha$  запишем теорему косинусов  $d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha$ , где  $d$  — расстояние между проводами.

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

Подставив численные значения, получим

$$\cos \alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

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

$$B_A = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{(0,05)_2} + \frac{1}{(0,12)^2} + \frac{2}{0,05 \cdot 0,12} \times \frac{23}{40}} = 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ Тл} = 308 \text{ мкТл}.$$

Ответ:  $B_A = 308 \text{ мкТл}$ .

**Задача 2.** Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U = 400 \text{ В}$ , попал в однородное магнитное поле напряженностью  $H = 10^3 \text{ А/м}$ . Определить радиус  $R$  кривизны траектории и частоту  $n$  обращения электрона в магнитном поле. Вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

### Решение

$$R = ?$$

$$n = ?$$

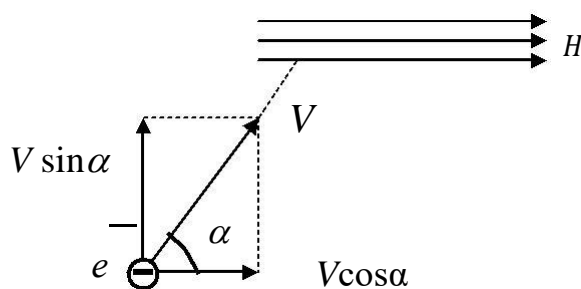
$$U = 400 \text{ В}$$

$$H = 10^3 \text{ А/м}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

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

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



Радиус кривизны траектории электрона определим, исходя из следующего: на движущийся в магнитном поле электрон действует сила Лоренца (действием силы тяжести можно пренебречь вследствие ее малости). Сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости и, следовательно, сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона можно записать

$$F_L = m_e a_n, \text{ где } a_n \text{ – нормальное ускорение.}$$

Или

$$|e| \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = \frac{m \cdot v^2}{R}, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона;  $v$  – скорость электрона;  $B$  – модуль индукции магнитного поля;  $m$  – масса электрона;  $R$  – радиус кривизны траектории;

$\alpha$  – угол между направлением скорости  $v$  и вектором  $B$  (в данном случае  $v \perp B$  и  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ ).

Из формулы (1) найдем

$$R = \frac{m \cdot v}{|e| \cdot B}. \quad (2)$$

В равенстве (2) импульс  $mv$  может быть выражен через кинетическую энергию  $K$  электрона

$$mv = \sqrt{2mK}. \quad (3)$$

Но кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$  равна  $K = eU$ .



Подставив это выражение  $K$  в формулу (3), получим  $m\nu = \sqrt{2meU}$ .

Магнитная индукция связана с напряженностью  $H$  таким образом (в вакууме):

$$B = \mu_0 H.$$

Подставив найденные выражения  $B$  и  $m\nu$  в формулу (2), найдем  $R$ :

$$R = \sqrt{2meU}. \quad (4)$$

Произведем вычисления:  $R = \sqrt{\frac{\mu_0 e H}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^5}} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ (м)}.$

Для определения частоты обращения  $n$  воспользуемся формулой:

$$n = \frac{\nu}{2\pi \cdot R} \quad (5)$$

Подставив в (5) выражение (2) получим  $n = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{e B}{m}$ , или  $n = \mu_0 \cdot \frac{e}{2\pi} \frac{H}{m}$ .

Произведем вычисления:  $n = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot 10^3 = 3,52 \cdot 10^7 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$

**Ответ:**  $R = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ м}, n = 3,52 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}.$

**Задача 3.** Электрическая цепь состоит из ЭДС, изменяющейся по гармоническому закону, омического сопротивления  $R$ , емкости  $C$ , индуктивности  $L$ , соединенных последовательно. Определить закон изменения напряжения на участке  $ABCD$  как функцию времени, разность фаз между током и напряжением, полное сопротивление цепи.

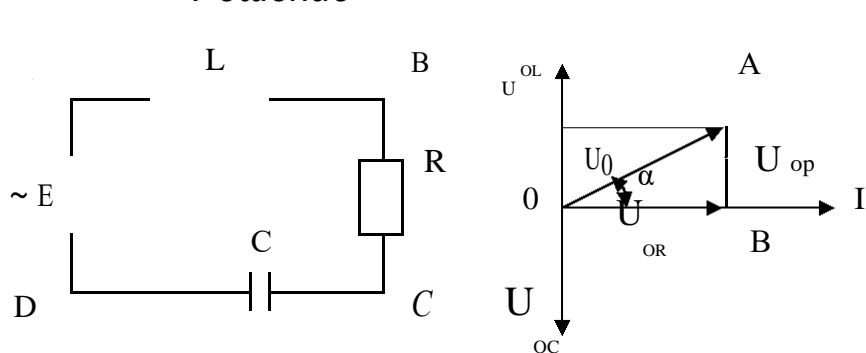
### Решение

$$U = f(t),$$

$$\alpha = ?$$

$$E = E_0 \sin \omega t$$

$$R, C, L.$$



Используем метод векторных диаграмм. Закон изменения силы тока задан в виде

$$I = I_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая частота изменения внешней ЭДС  $E$ . Направим ось токов

горизонтально. Тогда изменения (колебания) напряжения  $U_{OR}$  на

сопротивлении  $R$  изобразим вектором  $U_{OR}$ , направленным по оси токов,

изменения напряжения на индуктивности – вектором  $U_{OL}$ , направленным

перпендикулярно оси токов ( $U_{OL}$  отстает по фазе от тока из-за ЭДС индукции

$E_j$ ), и изменения напряжения на емкости – вектором  $\vec{U}_{oc}$ , также направленным перпендикулярно оси токов, но в другую сторону ( $U_{OC}$  опережает по фазе ток). Модули этих векторов равны

$$U_{OR} = IR; \quad U_{OL} = I\omega L; \quad U_{OC} = \frac{I_0}{\omega C}.$$

Сумму напряжений на  $L$  и  $C$   $U_{op} = I_0 \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$  называют реактивной составляющей напряжения.

Таким образом, результирующее напряжение изменяется по закону

$$U = U_0 \sin(\omega t + \alpha), \quad (2)$$

где амплитуда

$$U_0 = I_0 \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (3)$$

и разность фаз между током и результирующим напряжением (начальная фаза)

$$\alpha = \arctg \frac{\left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R} \quad (4)$$

определяются из векторного треугольника  $OAB$ .

Полное сопротивление в цепи переменного тока равно

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (5)$$

Ответ:  $U' = U \sin(\omega t + \alpha)$ ,

$$\alpha = \arctg \frac{\left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R},$$

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

## **6. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ**

Физическая оптика – раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом.

### **6.1. Волновая оптика**

*(Интерференция, дифракция и поляризация света.  
Дисперсия света. Поглощение и рассеяние света)*

Волновая оптика является частью общего учения о распространении волн. Необходимо понять, что с точки зрения волновой теории *свет – это электромагнитные волны определенного диапазона* на шкале всех электромагнитных волн. При изучении явлений интерференции и дифракции, объясняемых с позиций волновой природы света, нужно обратить внимание на общность этих явлений для волн любой природы (усиление или ослабление интенсивности в результате сложения двух или нескольких когерентных волн). Но световые волны имеют специфические особенности: когерентность, монохроматичность, которые обусловлены конечной длительностью свечения отдельного атома, который при этом испускает цуг волны.

Рассматривая явление дифракции, необходимо уметь, пользуясь принципом Гюйгенса–Френеля и методом зон Френеля, находить максимумы и минимумы на отверстии, на одной щели, дифракционной решетке.

Поперечность световых волн была экспериментально установлена при изучении явления поляризации света, которое имеет большое практическое применение. Сущность явления поляризации заключается в том, что поляризованный луч (пучок) света обладает неодинаковыми свойствами в различных плоскостях, проходящих через направление луча.

Нужно разобраться, в чем состоит разница между естественным, плоскополяризованным и частично поляризованным лучом, и в механизме явления двойного лучепреломления в кристаллах. Особое внимание следует обратить на способы получения поляризованного света и применение законов Брюстера, Малюса, на явление вращения плоскости поляризации в кристаллах и растворах. Из многочисленных практических применений поляризации нужно отметить поляроиды, поляриметр.

Определяя дисперсию с точки зрения волновой теории как зависимость скорости распространения волны (и, как следствие, показателя преломления) от частоты, нужно качественно объяснить ее механизм, отличие нормальной дисперсии от аномальной.

Необходимо ознакомиться с практическим применением дисперсии света в спектральных призматических приборах.

Поглощение света рассматривается как результат перехода лучистой энергии в другие формы энергии.

В явлении рассеяния главное – понять, что его причиной является наличие в веществе неоднородностей: пыль в воздухе, взвешенные в жидкости посторонние твердые частицы и т.д. Последние являются центрами испускания вторичных (рассеянных) волн, распространяющихся во всевозможных направлениях (этим объясняется «голубой» цвет неба).

### Вопросы для самопроверки

1. Каким условиям должны удовлетворять два источника света, чтобы при наложении их световых пучков наблюдалась устойчивая интерференционная картина?
2. Как объяснить тот факт, что интерференция имеет место только в достаточно тонких пленках?
3. Просветление оптики – что это?
4. Что понимают под «геометрической» и «оптической» разностью хода?
5. Почему практически на обычной дифракционной решетке наблюдается значительно меньше спектров, чем это допускается формулой решетки?
6. Чему равна скорость света в вакууме?
7. Частично поляризованный луч падает под углом Брюстера на неметаллическое зеркало. Можно ли добиться поворотом зеркала того, чтобы отражение от него полностью отсутствовало?
8. Что такое дисперсия света? Какая дисперсия называется нормальной?
9. Как объяснить окраску цветных стекол в проходящем и рассеянном свете?
10. Чем обусловлен голубой цвет неба? (При анализе этого факта учесть, что окраска атмосферы определяется рассеянием солнечного света на ее малых неоднородностях).
11. От чего зависит цветность световых волн?

## 6.2. Квантовая оптика

*(Корпускулярно-волновой дуализм. Люминесценция)*

Переход от классической физики к квантовой связан с проблемой теплового излучения, и в частности с вопросом распределения энергии по частотам в спектре излучения черного тела. Необходимо знать гипотезу Планка о квантовании энергии осциллятора и уяснить, что на основании формулы Планка могут быть получены законы Стефана–Больцмана и Вина.

Развитие гипотезы Планка привело к созданию представлений о квантовых свойствах света. Кванты света получили название фотонов. При изучении фотоэффекта следует знать формулу Эйнштейна и на ее

основании уметь объяснять закономерности, установленные А. Г. Столетовым.

Некоторые вещества при их облучении (видимым, ультрафиолетовым, рентгеновским и т.д. излучением) испускают собственное свечение (свой спектр излучения, отличный от спектра поглощенного излучения), которое определяется химическим составом и внутренней молекулярной структурой этих веществ. Такого рода свечение называется люминесцентным излучением, или просто люминесценцией. Облучение оптическим участком спектра вызывает фотолюминесценцию. Цвет люминесценции позволяет отличать один продукт от другого, выявлять фальсификацию и примеси, обнаруживать подделки ценных бумаг. При люминесцентном анализе определяются не химические элементы, из которых состоит исследуемое вещество, а непосредственно наличие того или иного вещества: органического соединения, краски и т. д.

Уяснить принцип работы лазера «индуцирования люминесценции». Понять идею голографической записи изображения.

### Вопросы для самопроверки

1. Излучают ли электромагнитные волны горящие дрова? негорящие дрова?
2. Суть радиационного закона Кирхгофа. Как это используется?
3. Суть закона Вина. Почему он называется «законом смещения»?
4. На белом фоне написан текст красными буквами. Через стекло какого цвета буквы будут казаться черными? Нельзя увидеть текст?
5. Почему явление фотоэффекта имеет «красную границу»?
6. Какие действия производит падающая световая волна на среду?
7. Перечислить характерные свойства лазерного излучения.
8. На чем основана идея голографии?
9. Какие закономерности фотоэффекта не удастся объяснить с позиций волновой теории света?
9. Во сколько раз энергия кванта УФ-излучения с длиной волны 20 нм больше энергии кванта ИК-излучения с длиной волны  $4 \cdot 10^5$  нм?
10. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества  $\alpha_{\text{пред}} = 45^\circ$ . Найти для этого вещества угол полной поляризации отраженного света (угол Брюстера).

### 6.3. Примеры решения задач

**Задача 1.** Для устранения отражения света от поверхности линзы на нее наносится тонкая пленка вещества с показателем преломления 1,25, меньше, чем у стекла (просветление оптики). При какой наименьшей толщине пленки отражение света с длиной волны 0,72 мкм не будет наблюдаться, если угол падения лучей  $60^\circ$ ?

$$d_{\min} = ?$$

$$n = 1,25$$

$$\lambda = 0,72 \text{ мкм}$$

$$i = 60^\circ$$

#### Решение

Оптическая разность хода лучей, отраженных от нижней и верхней поверхности пленки, равна

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

где  $d$  – толщина пленки;  $n$  – показатель преломления пленки;  $i$  – угол падения лучей. В выражении (1) учтено, что отражение лучей на обеих поверхностях происходит от оптически более плотной среды, и поэтому потери полуволны в обоих случаях компенсируют друг друга. Условие интерференционного минимума

$$\Delta = \pm(2m - 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны света. Подставляя (1) в (2) и учитывая, что выражение (1) положительно, получим

$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

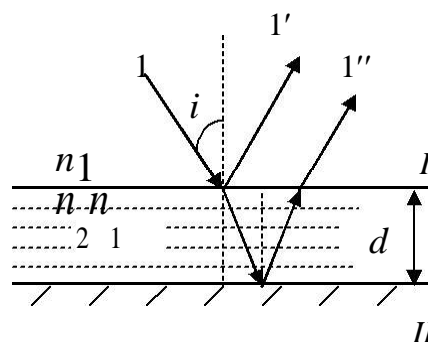
По (3) найдем возможные значения толщины пленки

$$d = \frac{(2m - 1) \lambda}{4 \sqrt{n^2 - \sin^2 i}}. \quad (4)$$

Наименьшая толщина пленки наблюдается при  $m = 1$ :

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4 \sqrt{n^2 - \sin^2 i}} = \frac{0,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{4 \sqrt{(1,25)^2 - \sin^2 60^\circ}} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,2 \text{ мкм}.$$

**Ответ:**  $d_{\min} = 0,2 \text{ мкм}$ .



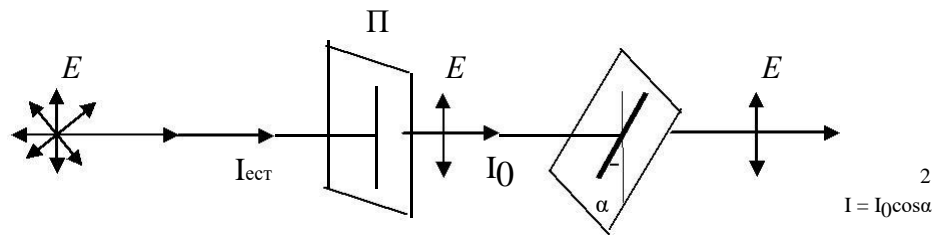
**Задача 2.** Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, уменьшилась в 2,3 раза. Во сколько раз она уменьшится, если за первым поставить второй такой же поляризатор так, чтобы угол между их главными плоскостями был равен  $60^\circ$ ?

## Решение

$$\frac{I}{I_{\text{ест}}} = ?$$

$$\frac{I}{I_0} = 2,3$$

$$\alpha = 60^\circ$$



Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных волн, поляризованных во взаимно-перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность. Идеальный поляризатор пропускает колебания, параллельные его главной плоскости, и полностью задерживает колебания, перпендикулярные этой плоскости.

На выходе из первого поляризатора получается плоскополяризованный свет, интенсивность которого с учетом потерь на отражение и поглощение света поляризатором равна

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} (1 - k), \quad (1)$$

где  $I_{\text{ест}}$  – интенсивность естественного света;  $k$  – коэффициент, учитывающий потери на отражение и поглощение. После прохождения второго поляризатора интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света поляризатором, так и из-за несовпадения плоскости поляризации света с главной плоскостью поляризатора. В соответствии с законом Малюса и с учетом потерь на отражение и поглощение света эта интенсивность равна

$$I = I_0 (1 - k) \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол между плоскостью поляризации света, которая параллельна главной плоскости первого поляризатора, и главной плоскостью второго поляризатора. Найдем, во сколько раз уменьшилась интенсивность света

$$\frac{I_{\text{ест}}}{I} = \frac{I_{\text{ест}}}{I_0 (1 - k) \cos^2 \alpha}. \quad (3)$$

По выражению (1) найдем

$$(1 - k) = \frac{2I_0}{I_{\text{ест}}}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получаем

$$\frac{I_{\text{ест}}}{I} = \frac{1}{2 \cos^2 \alpha} \left( \frac{I_{\text{ест}}}{I_0} \right)^2,$$

$$\frac{I_{\text{ест}}}{I} = \frac{1}{2 \cos^2 60^\circ} (2,3)^2 = 10,6.$$

**Ответ:**  $\frac{I_{\text{ест}}}{I} = 10,6.$

**Задача 3.** Во сколько раз увеличится мощность излучения черного тела, если максимум энергии излучения сместится от красной границы видимого спектра к его фиолетовой границе?

$$\frac{P_{\phi}}{P_{\kappa}} = ?$$

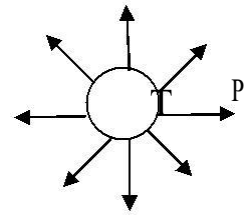
$$\lambda_{\kappa} = 0,76 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{\phi} = 0,38 \text{ мкм}$$

### Решение

Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения черного тела, согласно закону смещения Вина, равна

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}, \quad (1)$$



где  $b$  – постоянная Вина;  $T$  – термодинамическая температура тела.

По формуле (1) определяем температуру, при которой максимум энергии излучения приходится на красную  $\lambda_{\kappa}$  и фиолетовую  $\lambda_{\phi}$  границы видимого спектра:

$$T_{\kappa} = \frac{b}{\lambda_{\kappa}}, \quad T_{\phi} = \frac{b}{\lambda_{\phi}}. \quad (2)$$

Мощность излучения

$$P = R_T S, \quad (3)$$

где  $R_T$  – энергетическая светимость тела;  $S$  – площадь его поверхности. В соответствии с законом Стефана–Больцмана

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

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Для температур  $T_{\kappa}$  и  $T_{\phi}$  мощность излучения

$$P_{\kappa} = \sigma T_{\kappa}^4 S, \quad P_{\phi} = \sigma T_{\phi}^4 S. \quad (5)$$

По формуле (5) находим

$$\frac{P_{\phi}}{P_{\kappa}} = \left( \frac{T_{\phi}}{T_{\kappa}} \right)^4 \quad (6)$$

Или с учетом формулы (2) имеем

$$\frac{P_{\phi}}{P_{\kappa}} = \left( \frac{\lambda_{\kappa}}{\lambda_{\phi}} \right)^4 = \frac{P_{\phi}}{P_{\kappa}} = \left( \frac{0,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{0,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}} \right)^4 = 16.$$

**Ответ:**  $\frac{P_{\phi}}{P_{\kappa}} = 16.$

**Задача 4.** Работа выхода электрона у закиси меди  $A_{\text{вых}} = 5,15 \text{ эВ}$ .

Вызовет ли фотоэффект ультрафиолетовое излучение с длиной волны  $300 \text{ нм}$  ?



$$\lambda_{\text{кр}} = ?$$

$$A_{\text{ВЫХ}} = 5,15 \text{ эВ}$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

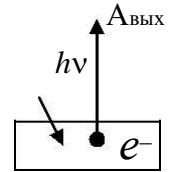
### Решение

Для решения задачи необходимо найти красную границу фотоэффекта у окиси меди

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{c \cdot h}{A}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{5,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 241 \text{ нм}$$

Фотоэффект не наступит, потому что наибольшая длина волны, при которой еще существует фотоэффект,  $\lambda_{\text{кр}} = 241 \text{ нм}$ , а данное ультрафиолетовое излучение имеет длину волны  $300 \text{ нм}$ , т. е. больше длины волны красной границы фотоэффекта.



**Задача 5.** Световая волна длиной  $530 \text{ нм}$  падает перпендикулярно на

прозрачную дифракционную решетку, постоянная которой равна  $d = 1,8 \text{ мкм}$ .

Определить угол дифракции, под которым образуется максимум наибольшего порядка.

$$\varphi = ?$$

$$\lambda = 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$d = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$k = k_{\text{max}}$$

### Решение

Из формулы дифракционной решетки выразим синус угла дифракции и определим максимум наибольшего

порядка  $\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$ .  
Так как  $\sin \varphi \leq 1$ , то  $\frac{k\lambda}{d} \leq 1$ ,

откуда  $k \leq \frac{d}{\lambda}$ .

$$k \leq \frac{1,8 \cdot 10^{-6}}{5,3 \cdot 10^{-7}} \leq 3,4.$$

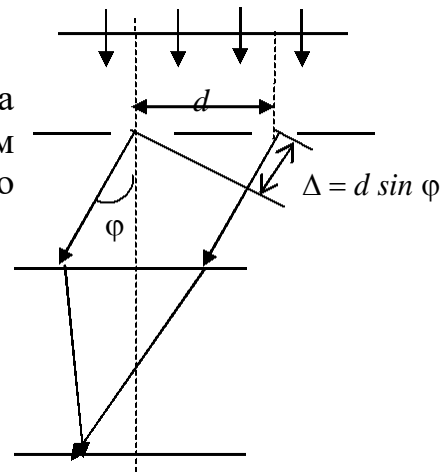
Максимум наибольшего порядка  $k_{\text{max}} = 3$ .

Определим угол дифракции при максимуме наибольшего

порядка  $\sin \varphi = \frac{k_{\text{max}} \lambda}{d}$ .

$$\sin \varphi = \frac{3 \cdot 5,3 \cdot 10^{-7}}{1,8 \cdot 10^{-6}} = 0,883, \varphi = 62^\circ.$$

**Ответ:**  $\varphi = 62^\circ$ .



## 7. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

*(Энергетический спектр атомов и молекул;  
элементы квантовой механики; рентгеновское излучение;  
эффект Комптона; элементы ядерной физики)*

### 7.1. Методические указания

Изучая строение атома и ядра, следует придерживаться исторической последовательности. Экспериментальной основой ядерной модели Резерфорда–Бора явились опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$  – частиц и исследование закономерностей в спектрах испускания водорода. Необходимо уметь сформулировать постулаты Бора и выводы, к которым они приводят в случае атома водорода, а также иметь представление о том, что теория Бора не может объяснить строение многоэлектронных атомов (эта задача решена квантовой механикой). Сериальные формулы можно получить из представлений классической механики и постулатов Бора. Необходимо обратить внимание на физический смысл квантовых чисел и принципа запрета Паули, на основе которого рассмотреть распределение электронов в атоме по состояниям.

Следует ознакомиться с элементами квантовой механики и рассмотреть такие вопросы, как корпускулярно-волновой дуализм (масса и импульс фотона, световое давление), гипотеза де Бройля, уяснить, что движение любой частицы, согласно этой гипотезе, всегда сопровождается не классическим волновым процессом, например, движению электрона сопутствует «электронная» волна. Разобраться в статистическом смысле волновой функции, принципе неопределенности. Знать уравнение Шрёдингера для стационарных и нестационарных состояний.

Необходимо понять природу рентгеновского излучения (тормозное излучение и рентгеновские спектры). Кроме того, изучить дифракцию их на кристаллической решетке и уметь пользоваться формулой Вульфа–Брэггов, являющейся основой в рентгеноструктурном анализе, имеющем важнейшее практическое применение.

Рассматривая эффект Комптона, необходимо обратить внимание на универсальный характер законов сохранения, которые оказываются справедливыми в каждом отдельном акте взаимодействия фотона с электроном.

Переходя к изучению элементов физики атомного ядра и элементарных частиц, нужно хорошо представлять состав атомного ядра и его характеристики: массу, линейные размеры, момент импульса, магнитный момент ядра, дефект массы ядра, энергию и удельную энергию связи ядра. Рассматривая состав ядра и взаимодействие нуклонов в ядре,

нужно знать свойства ядерных сил и обратить внимание на их обменную природу.

В процессе изучения радиоактивного распада ядер важно понять дискретный характер энергетического спектра  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -излучения, свидетельствующий о квантовании энергии ядер; понять закономерности  $\beta$ -распада, связанного с законами сохранения энергии и момента импульса.

Изучая тему «Ядерные реакции», важно понять, что во всех ядерных реакциях выполняются *законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда, массы (массового числа)*.

### Вопросы для самопроверки

1. Какому переходу электронов в атоме водорода соответствует линия с наибольшей длиной волны в серии Бальмера?
2. Какова физическая сущность *I* постулата Бора – правила стационарных состояний атома?
3. Какова физическая сущность *II* постулата Бора – правила частот?
4. В электронном микроскопе для получения изображения используется электронный пучок, с помощью которого можно получить дифракционные явления. Почему наблюдаются эти явления?
5. Почему спектры поглощения рентгеновских лучей отличны от их спектров испускания?
6. Каков спектр рентгеновского тормозного излучения? Почему?
7. Перечислить основные физические свойства рентгеновского излучения. Каков диапазон длин волн рентгеновского излучения?
8. Что такое активность радиоактивного распада?
9. Каков физический смысл закона радиоактивного распада и каково его математическое выражение?
10. При каком соотношении между массами исходных и конечных частиц происходит выделение энергии при ядерной реакции?
11. Что такое ядерная реакция, и при каких условиях она возникает?
12. Почему атомные массы химических элементов имеют дробные значения?
13. Каково правило смещения Содди для  $\alpha$ -распада?
14. Привести пример опыта, доказывающего реальность явления превращения вещества в электромагнитное поле. Написать реакцию превращения вещества в поле.
15. Почему ионизирующие излучения вредны и опасны для жизни человека?
16. Что изучает квантовая механика?

17. Электрон локализован в пространстве в пределах  $\Delta x = 1,0$  мкм. Учитывая, что постоянная Планка

*Варианты ответов:*

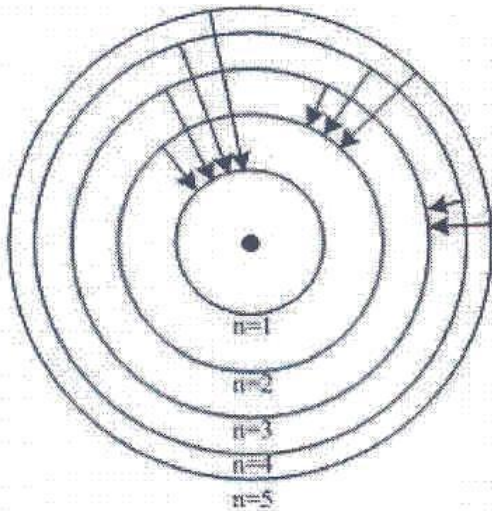
0,115;

$= 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж · с , а масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг , неопределенность скорости  $\Delta V_x$  (в м/с) составляет, не менее...

18. Стационарным уравнением Шрёдингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение...

19. На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.

Наименьшей частоте кванта в серии Бальмера соответствует переход...



$87 \cdot 10^{-31}$  ;  
115;

Варианты ответов:  
 $\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \Psi = 0;$

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \Psi = 0;$$

$$\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m \omega_0^2 x^2}{2} \right) \Psi = 0;$$

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r} \right) \Psi = 0.$$

$$n = 3 \rightarrow n = 2$$

$$n = 4 \rightarrow n = 3$$

$$n = 5 \rightarrow n = 2$$

$$n = 5 \rightarrow n = 1$$

## 7.2. Примеры решения задач

**Задача 1.** Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

$\mathcal{E}=?$

$n_1 = 2$

$n_2 = 4$

### Решение

Для определения энергии фотона воспользуемся серийной формулой для водородоподобных ионов

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны фотона,  $R$  – постоянная Ридберга,  $Z$  – заряд ядра в относительных единицах (при  $Z=1$  формула переходит в серийную формулу для водорода);  $n_1$  – номер орбиты, на которую перешел электрон;  $n_2$  – номер орбиты, с которой перешел электрон ( $n_1$  и  $n_2$  – главные квантовые числа).

Энергия фотона  $\mathcal{E}$  выражается формулой  $\mathcal{E} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ . (2)

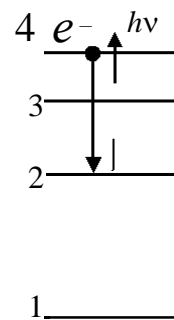
Поэтому, умножив обе части равенства (1) на  $h \cdot c$ , получим выражение для энергии фотона  $\mathcal{E} = R \cdot h \cdot c \cdot Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ .

Так как величина  $R \cdot h \cdot c$  есть энергия ионизации  $\mathcal{E}_i$  атома водорода, то энергия фотона равна  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_i Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ .

Вычисления выполним во внесистемных единицах:  $\mathcal{E}_i = 13,6$  эВ (см. прил.),  $Z=1$  (заряд ядра атома водорода в относительных единицах, где за единицу заряда принято абсолютное значение заряда электрона),  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 4$ .

$$\mathcal{E} = 13,6 \cdot 1^2 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 13,6 \cdot \frac{3}{16} = 2,55 \text{ эВ}.$$

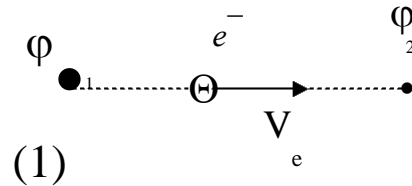
**Ответ:**  $\mathcal{E} = 2,55$  эВ.



**Задача 2.** Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов  $U$ . Найти длину волны де Бройля  $\lambda_B$  для  $U_1 = 51$  В.

$\lambda_B = ?$  $e^-$   
 $U_1 = 51\text{В}$ **Решение**

Длина волны де Бройля для частицы зависит от ее импульса  $p$  и определяется формулой  $\lambda_B = \frac{h}{p}$



$p$ , где  $h$  – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия  $K$ . Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше ее покоя) и релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0 K}, \quad (2)$$

где  $m_0$  – масса покоя частицы.

В релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + K)K}, \quad (3)$$

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

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется следующим образом:

$$\text{в нерелятивистском случае } \lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_0 K}}, \quad (4)$$

$$\text{в релятивистском случае } \lambda_B = \frac{h}{\sqrt{(2E_0 + K)K}}. \quad (5)$$

Сравним кинетическую энергию электрона, прошедшего заданную в условии задачи разность потенциалов  $U_1 = 51\text{В}$ , с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, которую из формул (4) или (5) следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$  равна

$$K = eU.$$

В этом случае  $K_1 = eU_1 = 51\text{эВ} = 0,51 \cdot 10^{-4} \text{ МэВ}$ , что много меньше энергии покоя электрона  $E_0 = m_0 c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$ .

Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4).

Для упрощения расчетов заметим, что  $K = 10^{-4} m_0 c^2$ . Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_0 10^{-4} \cdot m_0 c^2}} = \frac{10^2 \cdot h}{\sqrt{2} m_0 c}$$

Учтя, что  $\frac{h}{m_0 c}$  есть комптоновская длина волны  $\lambda_k$ , получим

$$\lambda = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \lambda_k.$$

Так как  $\lambda_k = 2,43$  пм (прил. 1), то  $\lambda = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot 2,43$  пм = 171 пм.

**Ответ:**  $\lambda_B = 171$  пм.

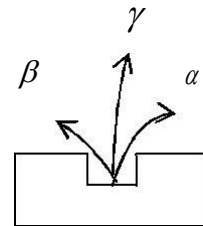
**Задача 3.** Сколько атомов распадается в 1 г ядра изотопа водорода  ${}^3_1\text{H}$  за среднее время жизни этого изотопа?

$N'=?$

$$m = 10^{-3} \text{ кг}$$

$$t = \tau$$

**Решение**



Согласно закону радиоактивного распада,

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

где  $N$  – число нераспавшихся атомов в момент времени  $t$ ;

$N_0$  – начальное число радиоактивных атомов в момент  $t = 0$

;  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада.

Среднее время жизни радиоактивного изотопа есть величина, обратная постоянной распада

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (2)$$

По условию задачи,  $t = \tau$ , тогда

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

Число атомов, распавшихся за время  $t$

$$N' = N_0 - N = N_0(1 - e^{-1}). \quad (4)$$

Число атомов, содержащихся в массе  $m$  изотопа  ${}^3_1\text{H}$ , равно

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A, \quad (5)$$

где  $M$  – молярная масса изотопа  ${}^3_1\text{H}$ ;  $N_A$  – постоянная Авогадро.

С учетом (5) выражение (4) примет вид

$$N' = \frac{m}{M} N_A (1 - e^{-1}).$$

Подставляя числовые значения, получим

$$N' = \frac{10^{-3} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{3 \cdot 10^{-3} \text{ кг моль}^{-1}} \cdot \frac{1}{(1 - 2,72)} = 1,27 \cdot 10^{23}.$$

**Ответ:**  $N' = 1,27 \cdot 10^{23}$ .

**Задача 4.** Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра изотопа кислорода  ${}^{16}_8\text{O}$ .

$$\Delta m = ?$$

$$\Delta E_{\text{св}} = ?$$

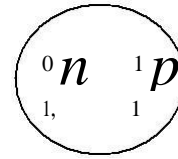
$$\Delta \varepsilon_{\text{св}} = ?$$

$${}^{16}_8\text{O}$$

$$1 \text{ а. е. м.} =$$

$$1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

**Решение**



Дефект массы

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

где  $Z$  – порядковый номер элемента, равный числу протонов в ядре;  $m_p$  – масса протона;  $A$  – массовое число ядра;  $m_n$  – масса нейтрона;  $M_{\text{я}}$  – масса ядра.

Формулу (1) можно также записать в виде

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_a, \quad (2)$$

где  $m_{1H}$  – масса атома изотопа водорода  ${}^1_1\text{H}$ ;  $m_a$  – масса атома, дефект массы ядра которого определяется.

По справочной таблице находим

$$m_{1H} = 1,00783 \text{ а. е. м.}, m_n = 1,00867 \text{ а. е. м.},$$

$$m_{168\text{O}} = 15,99492 \text{ а. е. м.}$$

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

$$\Delta m = 0,13708 \text{ а. е. м.}$$

Энергия связи ядра

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

где  $c$  – скорость света в вакууме.

Если дефект массы  $\Delta m$  выражать в а. е. м., а энергию связи в МэВ, то формула (3) примет вид

$$\Delta E_{\text{св}} = 931,5 \cdot \Delta m, \quad (4) \text{ где } 931,5 -$$

энергия, соответствующая одной атомной единице массы. Подставляя числовые данные, получим

$$\Delta E_{\text{св}} = 931,5 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot 0,13708 \text{ а.е.м.} = 127,62 \text{ МэВ.}$$

Удельная энергия связи ядра

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

Подставляя числовые данные, получим

$$\Delta \varepsilon_{\text{св}} = \frac{127,62}{16} \approx 7,98 \text{ МэВ.}$$

**Ответ:**  $\Delta m = 0,13708$  а. е. м.,

$$\Delta E_{\text{св}} = 127,62 \text{ МэВ,}$$

$$\Delta \varepsilon_{\text{св}} = 7,98 \text{ МэВ.}$$



**Задача 5.** Вычислить энергию ядерной реакции  ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$ . Выделяется или поглощается энергия при этой реакции?

$W = ?$

$m_1$   
 ${}^1_1\text{H}$

$m_2$   
 ${}^7_3\text{Li}$

$m_3$   
 ${}^7_4\text{Be}$   
 $m_4$   
 ${}^1_0\text{n}$

### Решение

Энергия ядерной реакции

$$W = c^2 [m_1 + m_2 - \sum m_i] \quad (1)$$

где  $m_1$  – и  $m_2$  – массы частиц, вступающих в реакцию,

$\sum m_i$  – сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции. Если массы частиц выразить в а.е.м., а энергию реакции в МэВ, то формула (1) примет вид

$$W = 931,5 [m_1 + m_2 - \sum m_i] \quad (2)$$

При вычислении энергии ядерной реакции можно использовать массы атомов, а не их ядер. Из справочных данных находим  $m_1({}^1_1\text{H}) = 1,00783$  а.е.м.,  $m_2({}^7_3\text{Li}) = 7,01601$  а.е.м.,  $m_3({}^7_4\text{Be}) = 7,01693$  а.е.м.,  $m_4({}^1_0\text{n}) = 1,00867$  а.е.м. Дефект массы реакции

$$(m_1({}^1_1\text{H}) + m_2({}^7_3\text{Li}) - m_3({}^7_4\text{Be}) - m_4({}^1_0\text{n})) = -0,00176 \text{ а.е.м.}$$

Подставляя числовые данные в (2), получим

$$W = 931,5 \text{ МэВ} / \text{а.е.м.} \cdot (-0,00176) \text{ а.е.м.} = -1,64 \text{ МэВ.}$$

Так как  $W < 0$ , то энергия в результате реакции поглощается.

**Ответ:**  $W = -1,64$  МэВ.

**Задача 6.** Сколько должно произойти  $\alpha$ -распадов и  $\beta$ -распадов, чтобы америций  ${}^{241}_{95}\text{Am}$  превратился в стабильный изотоп висмута  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ .

### Решение

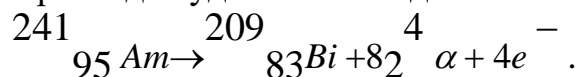
$\alpha$ -частица – двукратно ионизированный атом гелия  ${}^4_2\alpha$ , поэтому массовое число распадающегося ядра уменьшается на  $4 \cdot n_\alpha$ , где  $n_\alpha$  – число  $\alpha$ -распадов. Поэтому

$$n_\alpha = \frac{\Delta A}{4} = \frac{241 - 209}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ распадов.}$$

Зарядовое число уменьшится на  $\Delta Z = 8 \cdot 2 = 16$ , но при превращении америция в стабильный изотоп висмута  $\Delta Z = 95 - 83 = 12$ .

Разница в 4 лишних заряда уйдет при 4-х  $\beta$ -распадах.

**Ответ:** Реакция распада будет иметь вид



## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса физики учебным планом предусмотрено выполнение контрольных работ. Контрольные работы содержат задачи, относящиеся к основным разделам курса, поэтому к их выполнению приступают после изучения соответствующих тем.

Последняя цифра зачетной книжки студента является номером варианта задания.

### 8.1. Требования, предъявляемые к выполнению контрольной работы

1. Контрольную работу выполните в отдельной тетради школьного типа, где оставьте поля для замечаний рецензента. Страницы пронумеруйте.

2. Титульный лист оформите по образцу:

Федеральное агентство по образованию Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный торгово-экономический институт»

Контрольная работа по физике № \_\_\_\_\_  
 Студента 1 курса ФТОП  
 Группа ТОП–08–1  
 Спиридонова Н. К.  
 Шифр 08–6–22

Домашний адрес:  
 660050, г. Красноярск,  
 ул. Павлова, 5, кв. 117.

3. Задачи решайте в нижеприведенной последовательности:

а) запишите в тетрадь условие задачи;

б) пользуясь буквенными обозначениями физических величин, выпишите отдельно в виде столбца условие задачи (слева, ниже выписанной задачи), при этом выразите соответствующие им числовые значения в единицах СИ;

в) для пояснения решения задачи аккуратно выполните чертеж; г) задачу решите в общем виде, т. е. в буквенных обозначениях;

д) решение задачи сопровождайте пояснениями и формулировками физических законов;

е) полученное в общем виде решение проверьте определением размерности обеих частей. Неравенство размерностей – признак наличия ошибки в решении;

ж) убедившись в правильности общего решения, замените в уравнении буквенные обозначения физических величин их числовыми значениями и произведите соответствующие вычисления;

з) числовой ответ, полученный после вычисления, запишите в конце решения в виде произведения десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти (например, вместо 0,00129 запишите  $1,29 \cdot 10^{-3}$  и т. п.) с указанием единицы измерения;

возьмите из прил. 1;

к) в контрольной работе укажите учебники и учебные пособия, которыми пользовались в процессе решения задач.

**4.** Работа, выполненная без соблюдения вышеперечисленных требований, не рецензируется и отсылается студенту обратно без проверки.

**5.** Контрольную работу выслать на проверку в институт не позднее срока, указанного в учебном графике.

**6.** Получив проверенную контрольную работу, выполните работу над ошибками, если они имеются, в соответствии с замечаниями рецензента.

**7.** На собеседовании будьте готовы решить любую задачу в присутствии преподавателя и дать пояснения по ходу решения.

## 8.2. Задачи контрольной работы № 1

### Вариант 1

**1.** Точка движется по прямой согласно уравнению  $S = 0,5t^4 + 0,2t^2 + 2$  (длина в метрах, время в секундах). Найти скорость и ускорение точки в момент  $t = 4$  с. Каковы средние значения скорости и ускорения за первые 4 с движения? Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала  $0 \leq t \leq 4$  с.

**2.** По куску мяса, лежащему на массивном столе массой  $m_1 = 60$  кг, ударяют кухонным молотком  $m_2 = 0,8$  кг. Определить КПД  $\varepsilon$  удара, если удар неупругий. Полезной считать энергию, пошедшую на деформацию мяса.

3. Под действием силы  $F = 10 \text{ Н}$  тело движется прямолинейно так, что зависимость  $S = f(t)$  дается уравнением  $S = A - Bt + t^2$ . Найти массу  $m$  тела.

4. Точка совершает гармоническое колебание. Период колебаний  $T = 2 \text{ с}$ , амплитуда  $A = 50 \text{ мм}$ , начальная фаза  $\varphi_0 = 0$ . найти скорость  $v$  точки в момент времени, когда смещение точки от положения равновесия  $x = 25 \text{ мм}$ .

5. В сосуде объемом  $10 \text{ л}$  находится  $2 \text{ г}$  водорода под давлением  $p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Какова полная кинетическая энергия одной молекулы?

6. Какую работу нужно совершить, чтобы в два раза уменьшить объем  $6,4 \text{ г}$  кислорода путем изотермического сжатия при температуре  $47^\circ \text{ С}$ ?

### Вариант 2

1. Уравнение движения точки имеет вид  $x = 5 + t + 2t^2 + t^3$  (длина в метрах, время в секундах). Найти положение точки в момент времени  $t_1 = 1 \text{ с}$  и  $t_2 = 4 \text{ с}$ , скорости и ускорения в эти моменты времени. Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала  $0 \leq t \leq 4 \text{ с}$ .

2. Материальная точка движется по окружности радиусом  $1 \text{ м}$  согласно уравнению  $S = 8t - 0,2t^3$  (м). найти скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорение в момент времени  $2 \text{ с}$ .

3. Найти зависимость скорости от времени и силу, действующую на тело массой  $0,1 \text{ кг}$  в конце третьей секунды, если координата со временем изменяется по закону  $X = 2t - t^2 + 3t^3$ .

4. Материальная точка имеет наибольшее смещение  $0,25 \text{ м}$  и максимальную скорость  $0,5 \text{ м/с}$ . Написать уравнение гармонического колебания и определить максимальное ускорение точки.

5. Плотность газа  $\rho$  при давлении  $p = 720 \text{ мм рт. ст.}$  и температуре  $t = 0^\circ \text{ С}$  равна  $1,35 \text{ г/л}$ . Найти молярную массу  $M$  газа.

6. Какое количество теплоты выделится, если  $1 \text{ г}$  азота, взятого при  $0^\circ \text{ С}$  под давлением  $1 \text{ атм.}$ , изохорически сжать до давления  $10 \text{ атм.}$  при температуре  $0^\circ \text{ С}$ .

### Вариант 3

1. Дано уравнение прямолинейного движения материальной точки  $S = 8t^3 + t + 6$  (м). Найти скорость и ускорение точки в момент времени  $t = 3 \text{ с}$ , а также среднюю скорость и ускорение за первые  $3 \text{ с}$  движения. Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала  $0 \leq t \leq 3 \text{ с}$ .

2. Диск вращается равноускоренно и за время  $t_1 = 20 \text{ с}$  он сделал  $N = 30$  оборотов. Определить угловую скорость диска, которую он приобрел

по истечении  $t_2 = 2$  мин от начала движения и сколько оборотов он сделал за это время.

3. Какую часть общей кинетической энергии составляет энергия вращения для катящихся сплошного цилиндра и шара?

4. Медный шарик, подвешенный к пружине, совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний, если к пружине подвесить вместо медного шарика алюминиевый такого же радиуса?

5. При температуре  $35^\circ\text{C}$  и давлении 7 атм. плотность газа  $\rho = 12,2$  кг/м<sup>3</sup>. Определить молярную массу  $M$  газа.

6. Кислород массой  $m = 250$  г, имеющий температуру  $T = 200$  К, был адиабатически сжат. При этом была совершена работа  $A = 25$  кДж. Определить конечную температуру газа.

### Вариант 4

1. Материальная точка движется вдоль оси  $X$  по закону  $x = 10 + 2t^3$  (м). Найти скорость и ускорение материальной точки в момент времени  $t = 3$  с и вычислить среднюю скорость для интервала времени от  $t_1 = 0$  до  $t_2 = 3$  с. Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала  $0 \leq t \leq 3$  с.

2. Наклонная плоскость образует с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Тело скользит по наклонной плоскости и, пройдя путь  $S = 36,4$  см, приобретает скорость  $v = 2$  м/с. Найти коэффициент трения  $k$  тела о плоскость.

3. Сплошной диск массой 0,2 кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр масс под действием момента сил  $M = 8 \cdot 10^{-3}$  Нм. Закон вращения имеет вид  $\varphi = 5 - t + 2t^2$  (рад). Определить радиус диска.

4. Материальная точка имеет наибольшее смещение 0,25 м и максимальную скорость 0,5 м/с. Написать уравнение гармонического колебания и определить ускорение точки.

5. Определить давление  $p_1$  и  $p_2$  газа, содержащего  $N = 10^9$  молекул и имеющего объем  $V = 1$  см<sup>3</sup> при температурах  $T_1 = 3$  К и  $T_2 = 300$  К.

6. Объем водорода при изотермическом расширении увеличился в 3 раза. Определить работу  $A$ , совершенную газом, и теплоту  $Q$ , полученную при этом. Масса  $m$  водорода равна 200 г.

### Вариант 5

1. Точка движется по прямой согласно уравнению  $x = 2t + 0,5t^3$  (м). Найти среднюю скорость и ускорение мат в промежутке времени от  $t_1 = 2$  с до  $t_2 = 10$  с. Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала времени  $0 \leq t \leq 2$  с.

2. Тело скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$  дается уравнением  $S = 1,73t^3$  (м). Найти коэффициент трения  $k$  тела о плоскость.

3. Однородный стержень длиной 0,5 м совершает малые колебания в вертикальной плоскости, около горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. Найти период колебания  $T$  стержня.

4. К пружине подвешен груз. Максимальная кинетическая энергия колебаний груза  $E_{k \max} = 1$  Дж. Амплитуда колебаний  $A = 5$  см. Найти жесткость  $k$  пружины.

5. При температуре  $t = 37^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 708$  кПа плотность некоторого газа  $\rho = 12,2$  кг/м<sup>3</sup>. Определить молярную массу  $M$  газа.

6. В сосуде емкостью 1 л находится 8 г кислорода. Определить среднюю длину свободного пробега молекул.

### Вариант 6

1. Точка движется по прямой согласно уравнению  $S = 6t + \frac{1}{8}t^3$  (м).

Определить среднюю скорость и ускорение точки в интервале времени от  $t_1 = 2$  с до  $t_2 = 6$  с. Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала времени  $2 \text{ с} \leq t \leq 6 \text{ с}$ .

2. Материальная точка движется по окружности радиусом 1 м согласно уравнению  $S = 8t - 0,2t^3$  (м). Найти скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорение в момент времени  $t = 2$  с.

3. Под действием силы  $F = 10$  Н тело движется прямолинейно так, что зависимость  $S = f(t)$  дается уравнением  $S = A - 6t + t^2$  (м). Найти массу тела и зависимость скорости от времени.

4. Материальная точка имеет наибольшее смещение 0,25 м и максимальную скорость 0,5 м/с. Написать уравнение гармонического колебания и определить максимальное ускорение точки.

5. При какой температуре в 1 м<sup>3</sup> содержится  $2 \cdot 10^{25}$  молекул идеального газа, если давление его равно  $2 \cdot 10^5$  Па?

6. Масса  $m = 10$  г кислорода находится при давлении  $p = 300$  кПа и температуре  $t = 10^\circ\text{C}$ . После нагревания при  $p = \text{const}$  газ занял объем  $V = 10$  л. Найти количество теплоты  $Q$ , полученное газом, приращение  $U$  внутренней энергии газа и работу  $A$ , совершенную газом при расширении.

### Вариант 7

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси  $X$  имеет вид  $x = 2 + t - 5t^2$  (м). Найти координату  $X$ , скорость  $v$  и ускорение  $a$  материальной точки в момент времени  $t = 2$  с. Каковы средние скорости и ускорение за первые 2 с движения? Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала времени  $0 \leq t \leq 3$  с.

2. Тело массой 1 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно по закону  $S = t^2 + 2t + 2$ . Определить работу силы за 5 с после ее движения.

3. Сплошной цилиндр массой 10 кг имеет в некоторый момент скорость 10 м/с. Определить кинетическую энергию цилиндра, время его остановки, если на него действует сила сопротивления движению 50 Н.

4. Начальная фаза гармонического колебания  $\varphi_0 = 0$ . При смещении точки от положения равновесия  $x_1 = 2,4$  см скорость точки  $v_1 = 3$  см/с, а при смещении  $x_2 = 2,8$  см, ее скорость  $v_2 = 2$  см/с. Найти амплитуду  $A$  и период  $T$  этого колебания.

5. Баллон емкостью 100 л содержит сжатый азот. В результате расходования части азота его давление в баллоне уменьшилось на  $2 \cdot 10^6$  Па. Определить массу вышедшего из баллона азота, если температура постоянна и равна  $17^\circ \text{C}$ .

6. Баллон с кислородом емкостью 20 л при давлении 100 атм. и температуре  $7^\circ \text{C}$  нагревается до  $27^\circ \text{C}$ . Какое количество теплоты при этом поглощает газ?

### Вариант 8

1. Материальная точка движется прямолинейно по закону  $S = t^4 + 2t^2 + 5$  (м). Определить скорость и ускорение точки в момент времени  $t = 2$  с. Каковы средние значения скорости и ускорения за первые 2 с движения? Построить графики зависимости  $S = f(t)$ ,  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$  для интервала времени  $0 \leq t \leq 2$  с.

2. Тело массой  $m = 0,2$  кг соскальзывает без трения с горки высотой  $h = 2$  м. Найти изменение импульса  $\Delta p$  тела.

3. Молоток массой  $m = 0,2$  кг ударяет по куску мяса, лежащему на твердом покрытии стола. Масса стола 50 кг. Определить КПД удара молотка при данных условиях. Удар считать неупругим. Полезной является энергия, пошедшая на деформацию куска мяса.

4. Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебательное движение,  $W = 30$  мкДж. Максимальная сила, действующая на тело,  $F_{\max} =$

1,5 мН. Написать уравнение движения этого тела, если период колебаний  $T = 2$  с и начальная фаза  $\nu_0 = \pi/3$ .

5. В сосуде объемом  $1,5 \text{ м}^3$  содержится  $10^{26}$  молекул идеального газа. Давление в сосуде  $p = 200$  кПа. Определить температуру газа в сосуде.

6. Масса  $m = 10$  г кислорода, находящегося при нормальных условиях сжимается до  $1,4$  л. Найти давление и температуру кислорода после сжатия, если кислород сжимается: а) изотермически; б) адиабатически. Найти работу сжатия в каждом из этих случаев.

### Вариант 9

1. Уравнения прямолинейного движения двух точек заданы в виде  $S_1 = 4t^2 + t$  и  $S_2 = 5t^2 + t^2$  (длина в метрах, время в секундах). В какой

момент времени скорости точек будут равны? Определить ускорения в этот момент времени. Построить графики зависимости  $v = f(t)$ .

2. С наклонной плоскости высотой  $3$  м соскальзывает без трения тело массой  $m = 0,5$  кг. Определить изменение  $\Delta p$  импульса тела.

3. Для сообщения маховику угловой скорости, при которой он делает  $n = 90$  об/мин, совершена работа  $A = 94,2$  кг·м. Определить момент импульса движения маховика.

4. Точка участвует одновременно в двух взаимно-перпендикулярных

колебаниях:  $x = \sin \omega t$  и  $y = 2 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ . Найти траекторию точки

начертить ее с соблюдением масштаба.

5. Сколько молей и сколько молекул газа находится в колбе емкостью  $240 \text{ см}^3$ , если температура газа  $20^\circ \text{C}$  и давление  $380$  мм рт. ст.?

6. Масса  $7$  г углекислого газа была нагрета на  $T = 10$  К в условиях свободного расширения. Найти работу  $A$  расширения газа и приращение  $U$  его внутренней энергии

### Вариант 10

1. Материальная точка движется по кривой согласно уравнению

$x = 10 + 2t^3$ . Найти среднюю скорость движения точки в промежутке

времени от  $t_0 = 0$  до  $t_1 = 3$  с, ее скорость и ускорение в момент времени  $t = 3$  с. Построить графики  $v = f(t)$ ,  $a = f(t)$ .



2. Чтобы остановить цилиндр массой  $m = 2$  кг, катившийся по горизонтальной поверхности, потребовалось совершить работу, равную 24 Дж. Какова была начальная скорость цилиндра?

3. Точка совершает гармонические колебания с частотой  $\nu = 1,25 \text{ с}^{-1}$ . Амплитуда  $A = 6 \text{ см}$ , начальная фаза равна 0. Определить скорость точки в момент, когда ее смещение от положения равновесия равно 3 см.

4. Стальной шарик диаметром  $d = 1 \text{ мм}$  падает с постоянной скоростью  $v = 0,185 \text{ см/с}$  в большом сосуде, наполненном подсолнечным маслом. Найти кинематическую и динамическую вязкость масла.

5. Количество вещества  $\nu$  кислорода равно 0,5 моль. Определить внутреннюю энергию  $U$  водорода, а также среднюю кинетическую энергию  $\langle \mathcal{E}_k \rangle$  молекулы этого газа при температуре  $T = 300 \text{ К}$ .

6. Азот массой  $m = 0,1 \text{ кг}$  был изобарно нагрет от  $T_1 = 200 \text{ К}$  до  $T_2 = 400 \text{ К}$ . Определить работу  $A$ , совершенную газом, полученную им теплоту  $Q$  и изменение внутренней энергии  $U$ .

### 8.3. Задачи контрольной работы № 2

#### Вариант 1

1. Два сопротивления  $R_1 = 3 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 6 \text{ Ом}$  соединены последовательно и включены в сеть. При этом в первом сопротивлении выделяется мощность 700 Вт. Какая мощность выделяется на втором сопротивлении? Какая мощность будет выделяться в этих сопротивлениях при их параллельном соединении? Напряжение в сети не меняется.

2. Какова мощность нагревателя, если 1 л воды закипает через 5 минут взятой при температуре  $16^\circ \text{С}$ ? Каково сопротивление этого нагревателя, если его КПД  $\eta = 80 \%$  и номинальное напряжение  $U = 120 \text{ В}$ ? Удельная теплоемкость воды  $c = 4190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

3. Конденсатор емкостью  $C = 1 \text{ мкФ}$  и резистор с  $R = 3 \text{ кОм}$  последовательно включены в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Найти полное сопротивление цепи  $Z$  и сдвиг фазы между током и напряжением.

4. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны  $\lambda = 0,405 \text{ мкм}$ . Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов  $U = 1,2 \text{ В}$ . Найти работу выхода электрона из катода.

5. Световая волна длиной  $\lambda = 530 \text{ нм}$  падает нормально на прозрачную дифракционную решетку, постоянная которой равна  $d = 1,8 \text{ мкм}$ . Определить угол дифракции, под которым образуется максимум наибольшего порядка.

6. Определить длину волны  $\lambda$ , отвечающую максимуму испускательной способности черного тела при температуре  $t = 37^\circ \text{С}$  и энергетическую светимость тела.

## Вариант 2

1. Электрическая плитка имеет две спирали, сопротивление которых  $R_1 = 20 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 30 \text{ Ом}$ . Определить мощность, потребляемую плиткой, если в сеть с напряжением  $U = 127 \text{ В}$  включить: а) каждую спираль отдельно; б) две спирали параллельно; в) две спирали последовательно.
2. Какой объем воды можно вскипятить, затратив электрическую энергию  $W = 3 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ , если КПД  $\eta = 80 \%$  и начальная температура воды равна  $10^\circ \text{С}$ ? Удельная теплоемкость воды  $c = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .
3. Конденсатор емкостью  $C = 800 \text{ мкФ}$  включен в цепь переменного тока частотой  $50 \text{ Гц}$  с помощью проводов, сопротивление которых  $R = 3 \text{ Ом}$ . Определить силу тока в конденсаторе и  $\cos \varphi$ , если напряжение в сети  $220 \text{ В}$ . Построить диаграмму напряжений.
4. В воде интерферируют когерентные волны частотой  $\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ . Усилится или ослабнет свет в точке пространства, если геометрическая разность хода лучей в ней равна  $s = 1,8 \text{ мкм}$ ? Показатель преломления воды равен  $n = 1,33$ .
5. Какую энергетическую светимость имеет конфорка печи, если ее максимальная температура поверхности  $450^\circ \text{С}$ . Степень ее черноты  $0,6$ . На какую длину волны приходится максимум электромагнитного излучения?
6. За какое время распадается  $75 \%$  атомов  $^{45}_{20} \text{Ca}$ ?

## Вариант 3

1. Определить ЭДС аккумуляторной батареи, ток короткого замыкания которой  $10 \text{ А}$ , если при подключении резистора сопротивлением  $R = 9 \text{ Ом}$  сила тока в цепи равна  $1 \text{ А}$ .
2. Объем  $4,5 \text{ л}$  воды можно вскипятить, затратив электрическую энергию  $W = 0,5 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ . Начальная температура воды  $23^\circ \text{С}$ . Найти КПД  $\eta$  нагревателя.
3. Катушка длиной  $l = 50 \text{ см}$  и площадью поперечного сечения  $S = 10 \text{ см}^2$  включена в цепь переменного тока частотой  $\nu = 50 \text{ Гц}$ . Число витков катушки  $N = 3000$ . Найти сопротивление  $R$  катушки, если сдвиг фаз между напряжением и током  $\varphi = 60^\circ$ .
4. Какое число штрихов  $N_0$  на единицу длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия  $\lambda = 546,1 \text{ нм}$  в спектре первого порядка наблюдается под углом  $\nu = 19^\circ 12'$ ?
5. Рубиновый лазер излучает в одном импульсе  $N = 3,5 \cdot 10^{19}$  фотонов с длиной волны  $\lambda = 694 \text{ нм}$ . Чему равна средняя мощность вспышки лазера, если ее длительность  $\tau = 0,001 \text{ с}$ ?

6. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке  $d = 0,3$  мм, длина спирали  $l = 5$  см. При включении лампочки в сеть напряжением  $U = 127$  В через лампочку течет ток  $I = 0,31$  А. Найти температуру спирали  $T$ , если степень черноты вольфрама  $\varepsilon = 0,31$ .

### Вариант 4

1. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через  $\tau = 15$  мин., если только вторая, то через  $\tau = 30$  мин. Через сколько минут закипает вода, если обе секции включить параллельно? Последовательно?

2. Какова мощность нагревателя, если 1 л воды закипает через 5 мин. При начальной температуре  $16^{\circ}\text{C}$ ? Каково сопротивление этого нагревателя, если его КПД  $\eta = 80\%$  и номинальное напряжение 120 В? Удельная теплоемкость воды  $c = 4190$  Дж/(кг·К).

3. Конденсатор и электрическая лампочка соединены последовательно и включены в цепь переменного тока напряжением  $U = 440$  В и частотой 50 Гц. Какую емкость  $C$  должен иметь конденсатор для того, чтобы через лампочку протекал ток  $I = 0,5$  А и падение напряжения на ней было равным  $U = 110$  В? Построить векторную диаграмму напряжений.

4. Найти угол полной поляризации при отражении от границы стекло-вода.

5. На решетку с постоянной  $d = 0,006$  мм нормально падает монохроматический свет. Угол между спектрами 1-го и 2-го порядка равен  $\Delta\nu = 4^{\circ}36'$ . Определить длину световой длины.

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

### Вариант 5

1. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром  $d = 1$  мм надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом 2,5 см, чтобы получить печь сопротивлением  $R = 40$  Ом?

2. На плитке мощностью  $P = 500$  Вт стоит чайник, в который налит 1 л воды при температуре  $t = 16^{\circ}\text{C}$ . Вода закипела через 20 минут после включения плитки. Какое количество теплоты  $Q$  потеряно при этом на нагревание самого чайника и плитки, на излучение нагретыми частями чайника и плитки и т. д.? Определить КПД  $\eta$  чайника.

3. Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между главными плоскостями которых  $\varphi = 60^{\circ}$ . Во сколько раз изменится интенсивность света, прошедшего через эту систему, если угол между плоскостями поляризаторов уменьшить в два раза?

4. Катушка с активным сопротивлением  $R = 10$  Ом и индуктивностью  $L$  включена в цепь переменного тока напряжением  $U = 127$  В и частотой 50 Гц. Найти индуктивность  $L$  катушки, если известно, что катушка поглощает мощность  $P = 400$  Вт и сдвиг фаз между напряжением и током  $\nu = 50^\circ$ .

5. Какое число штрихов на единицу длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути  $\lambda = 546,1$  нм в спектре первого порядка наблюдается под углом  $\nu = 19^\circ 8'$ ?

6. Определить энергию фотона, соответствующего третьей линии ультрафиолетовой серии (серия Лаймана) спектра водорода. Начертите схему энергетических уровней атома водорода и укажите на ней стрелкой переход, соответствующих данной линии.

### Вариант 6

1. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление  $R = 10,8$  Ом. Масса медной проволоки  $m = 3,41$  кг. Какой длины  $l$  и какого диаметра  $d$  проволока намотана на катушке?

2. Электрический чайник, содержащий 0,6 л воды при температуре  $9^\circ\text{C}$ , забыли выключить. Сопротивление нагревателя чайника  $R = 16$  Ом. Через какое время  $\tau$  после включения чайника вода выкипит? Напряжение сети  $U = 220$  В, КПД нагревателя  $\eta = 60\%$ .

3. Какую разность длин волн может разрешить дифракционная решетка шириной 2 см и периодом 5 мкм в области красных лучей ( $\lambda = 0,7$  мкм) в спектре второго порядка?

4. Солнечный луч, проходящий через отверстие в ставне, составляет с поверхностью стола угол  $\alpha = 48^\circ$ . Как надо расположить плоское зеркало, чтобы изменить направление луча на горизонтальное?

5. Определить длину волны лучей, кванты которых имеют такую же энергию, как электрон, проходящий разность потенциалов  $\Delta\varphi = 4,1$  В.

6. Квант рентгеновского луча, равный  $\mathcal{E} = 2 \cdot 10^{-15}$  Дж, при столкновении с электроном потерял 20 % энергии. Определить частоту и длину волны этого луча после столкновения.

### Вариант 7

1. Определить удельное сопротивление и материал провода, который намотан на катушку, имеющую  $N = 500$  витков со средним диаметром витков 6 см, если при напряжении  $U = 320$  В допустимая плотность тока  $j = 200$  МА/м<sup>2</sup>.

2. К генератору постоянного тока подключен электрокипяtilьник, имеющий сопротивление  $R = 200$  Ом с  $\eta = 80\%$ . Электрокипяtilьник

доводит за 5 мин. до кипения 0,2 кг воды при начальной температуре ее  $20^{\circ}\text{C}$ . Определить ЭДС и КПД генератора, если его внутреннее сопротивление  $r = 2\ \text{Ом}$ .

3. Рамка, содержащая  $N = 1000$  витков площадью  $S = 100\ \text{см}^2$ , равномерно вращается с частотой  $\nu = 10\ \text{с}^{-1}$  в магнитном поле напряженностью  $H = 10\ \text{А/м}$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную ЭДС индукции, развиваемую в рамке.

4. Конденсатор емкостью  $C = 800\ \text{мкФ}$  включен в сеть переменного тока с частотой 50 Гц с помощью проводов, сопротивление которых  $R = 3\ \text{Ома}$ . Определить силу тока в конденсаторе  $I$  и  $\cos\varphi$ , если напряжение в сети  $U = 120\ \text{В}$ . Построить векторную диаграмму напряжений.

5. Сколько штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути  $\lambda_0 = 546\ \text{нм}$  в спектре второго порядка наблюдается под углом  $41^{\circ}12'$ ?

6. В результате комптоновского рассеяния на свободном электроне длина волны гамма-фотона увеличилась в два раза. Найти кинетическую энергию электрона отдачи, если угол рассеяния фотона равен  $60^{\circ}$ . До столкновения электрон покоился.

### Вариант 8

1. В цепи постоянного тока мощность, выделяемая на внешнем сопротивлении  $R$ , будет одинакова, если нагрузка станет  $5R$ . Найти внутреннее сопротивление источника тока  $r$ .

2. Какую мощность  $P$  потребляет ТЭН электрочайника, если 1 л воды, взятой при  $14^{\circ}\text{C}$  закипает через 5 мин.? Каково сопротивление спирали нагревателя, если напряжение в сети 127 В и  $\eta = 0,8$ ?

3. Конденсатор емкостью  $C = 1\ \text{мкФ}$  и резистор  $R = 3\ \text{кОм}$  включены в цепь переменного тока частотой 50 Гц последовательно. Найти полное сопротивление  $Z$  цепи.

4. Постоянная дифракционной решетки равна  $d = 2,5\ \text{мкм}$ . Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре третьего порядка при нормальном падении монохроматического света с  $\lambda = 0,59\ \text{мкм}$ .

5. Гамма-фотон с энергией 1,02 МэВ в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол  $90^{\circ}$ . Определить импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

6. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи альфа-частицы.

### Вариант 9

1. Найти сопротивление  $R$  железного стержня диаметром  $d = 1$  см, если масса стержня  $m = 1$  кг. ( $R = 1,8 \cdot 10^{-6}$  Ом).
2. Нагреватель электрической кастрюли имеет две одинаковые секции с  $R = 20$  Ом каждая. Через какое время  $\tau$  закипит объем  $V = 2,2$  л воды температурой  $16^\circ\text{C}$ , если: а) включена одна секция; б) обе секции включены последовательно; в) обе секции включены параллельно? Напряжение в сети  $U = 110$  В, КПД нагревателя  $\eta = 85\%$ .
3. При каком напряжении по обмотке дросселя, имеющей омическое сопротивление  $R = 35$  Ом и индуктивность  $L = 0,1$  Гн, пойдет ток  $I = 3$  А? Частота переменного тока  $\nu = 50$  Гц.
4. Сколько квантов содержит 1 эрг излучения с длиной волны  $\lambda = 0,002$  мкм?
5. В результате комптоновского рассеяния на свободном электроны энергия гамма-фотона уменьшилась в два раза. Угол рассеяния фотона равен  $60^\circ$ . Найти импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.
6. Определить максимальную кинетическую энергию электрона, испускаемого при распаде нейтрона. Написать уравнение распада.

### Вариант 10

1. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром  $d = 0,5$  мм надо намотать на стержень диаметром 4 мм, чтобы получить печь сопротивлением 56 Ом?
2. Объем  $V = 4,5$  л воды можно вскипятить, затратив электрическую энергию  $W = 0,5$  кВт·ч. Начальная температура воды  $23^\circ\text{C}$ . Найти КПД  $\eta$  нагревателя.
3. В цепь переменного тока напряжением  $U = 220$  В и частотой  $\nu = 50$  Гц включены последовательно емкость  $C = 35,4$  мкФ, сопротивление  $R = 100$  Ом и индуктивность  $L = 0,7$  Гн. Найти ток  $I$  в цепи и падение напряжения на емкости, сопротивлении и индуктивности.
4. На решетку с постоянной  $d = 0,005$  мм нормально падает монохроматический свет. Угол между спектрами 1-го и 2-го порядков равен  $\Delta\nu = 4^\circ 36'$ . Определить длину световой волны  $\lambda$ .
5. Первоначально покоившийся свободный электрон в результате комптоновского рассеяния на нем гамма-фотона с энергией 0,51 МэВ приобрел кинетическую энергию, равную 0,17 МэВ. Чему равен угол рассеяния фотона?
6. Вследствие радиоактивного распада  ${}_{92}^{238}\text{U}$  превращается в  ${}_{86}^{206}\text{Pb}$ . Сколько альфа- и бета-превращений он при этом испытывает?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – 10-е изд. – М. : Наука, 2000. – 364 с.
2. Грабовский Р. И. Курс физики / Р. И. Грабовский. – М. : Высш. шк., 2002.
3. Поцелуйко А. А. Общая физика : курс лекций для студентов торгово-экономических вузов / А. А. Поцелуйко ; Краснояр. гос. торг.-экон. ин-т. – Красноярск, 2005. – 236 с.
4. Савельев И. В. Курс общей физики : в 3 т / И. В. Савельев. – М. : Наука, 2002.
5. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 2008.



**Фундаментальные и основные физические константы**

Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9,806\,65 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$\gamma = 6,672\,59 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,0221367 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,314\,510 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,380\,658 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Лошмидта	$n_0 = 2,686\,763 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$
Скорость света в вакууме	$c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$
Элементарный заряд	$e = 1,602\,17733 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрическая постоянная	$\varepsilon = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109\,389\,7 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Фарадея	$F = 9,648\,530\,9 \text{ Кл/моль}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 12,566370614 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина (закон смещения)	$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,626\,075\,5 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга $m_e c^2 / \lambda h$	$R_\infty = 109\,737\,31,534 \text{ м}^{-1}$
Боровский радиус $a/(4\pi R_e)$	$a_0 = 0,529\,177\,249 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона $h/(m_e c)$	$\lambda_K = 2,42631058 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Энергия ионизации атома водорода	$\varepsilon = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = 13,6 \text{ эВ}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} = 1,660\,540\,2 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,672\,623\,1 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,674\,928\,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя дейтрона	$m_d = 3,343\,586\,0 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя $\alpha$ -частицы	$m_\alpha = 6,644\,22 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

**Перевод системных и внесистемных единиц в единицы СИ**

Сила $F$	СГС	Дина	$10^{-5} \text{ Н}$
Работа $A$	МКГС	кг-сила	9,81 Н
	СГС	Эрг	$10^{-7} \text{ Дж}$
Давление $p$		электрон-вольт (эВ)	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
		мегаэлектрон-вольт (МэВ)	$1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$
		Бар	$10^5 \text{ Па}$
		мм рт. ст.	133,3 Па
Динамическая вязкость $\eta$	СГС	физическая атмосфера	$1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$
		Пуаз	$0,1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$
Кинематическая вязкость $\nu$	СГС	Стокс	$10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Заряд электрический $q$	СГСЭ	СГСЭ $q$	$3,33 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$

**Производные единицы СИ,  
имеющие собственные наименования**

Величина		Единица		Выражение производной единицы	
наименование	обозначение	наименование	обозначение	другие СИ	через основные единицы СИ
Частота	$\nu$	Герц	Гц	$\text{с}^{-1}$	
Сила	$F$	Ньютон	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$	
Давление	$P$	Паскаль	Па	$\text{Н} / \text{м}^2$	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{м}^{-2}$
Энергия, работа, теплота	$E, W, Q$	Джоуль	Дж	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность, поток энергии	$U, N, P$	Ватт	Вт	$\text{А} \cdot \text{В}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Количество электричества, электрический заряд	$Q, q$	Кулон	Кл	$\text{А} \cdot \text{с}$	$\text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение, электрический потенциал	$U, \varphi$	Вольт	В	$\text{Вт} / \text{А}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	$C$	Фарад	Ф	$\text{Кл} / \text{В}$	$\text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	$R, r$	Ом	Ом	$\text{В} / \text{А}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	$\sigma$	Сименс	См	$\text{А} / \text{В}$	$\text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Поток магнитной индукции	$\Phi$	Вебер	Вб	$\text{В} \cdot \text{с}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	$\Phi$	Тесла	Тл	$\text{Вб} / \text{м}^2$	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$
Индуктивность	$L$	Генри	Гн	$\text{Вб} / \text{А}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Световой поток	$L$	люмен	лм	$\text{кд} \cdot \text{ср}$	
Освещенность	$\Phi$	люкс	лк	$\text{лм} / \text{м}^2$	$\text{кд} \cdot \text{ср} \cdot \text{м}^{-2}$
Активность нуклида в радиоактивном источнике	$E$	Беккерель	Бк	$\text{с}^{-1}$	
Поглощенная доза излучения		Грей	Гр	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$	
Эквивалентная доза излучения		Зиверт	Зв	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$	

**Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований**

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
экса	Э	$10^{18}$	санти	с	$10^{-2}$
пета	П	$10^{15}$	мили	м	$10^{-3}$
тера	Т	$10^{12}$	микро	мк	$10^{-6}$
гига	Г	$10^9$	нано	н	$10^{-9}$
мега	М	$10^6$	пико	п	$10^{-12}$
кило	к	$10^3$	фемто	ф	$10^{-15}$
деци	д	$10^{-1}$	атто	А	$10^{-18}$

**Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ**

Наименование величины	Единица		
	наименование	обозначение	соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	$10^3$ кг
	атомная единица массы	а. е. м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86 400 с
Плоский угол	градус	...	$1,74 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	...'	$2,91 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	...''	$4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
Объем, вместимость	литр	л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Длина	астрономическая единица	а. е.	$1,50 \cdot 10^{11}$ м
	световой год	св. год	$9,46 \cdot 10^{15}$ м
	парсек	ПК	$3,08 \cdot 10^{16}$ м
Оптическая сила	диоптрия	дптр	$1$ м <sup>-1</sup>
	гектар	га	$10^4$ м <sup>2</sup>
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	
	Реактивная мощность	вар	

Учебно-методическое издание

**Составители:**  
**Анатолий Артемович Поцелуйко**  
**Олег Владимирович Розанов**

## **ФИЗИКА**

*Методические указания  
к выполнению контрольных работ*

Подписано в печать 23.10.2009 г. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. п.л. 4,88.  
Уч.-изд. л. 4,97. Тираж 200 экз. Заказ 471

Редакционно-издательский отдел КГТЭИ.  
660075, г. Красноярск, ул. Л. Прушинской, 2

Отпечатано ООО «Енисей-Знак»  
660028, г. Красноярск, ул. Телевизорная, 1, стр. 21