

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

**ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

Сборник учебно-методических материалов  
для направления подготовки  
03.03.02 – «Физика»

Благовещенск 2017

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
инженерно-физического факультета  
Амурского государственного  
Университета*

*Составитель: Козачкова О.В.*

Термодинамика и статистическая физика: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. «Физика» / О.В. Козачкова . – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.- 48 с.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© Козачкова О.В., составление

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в системе высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студентов. Это обусловлено переходом на новую систему высшего образования, в которой предусматривается формирование компетенций выпускника по различным направлениям деятельности. Профессиональная деятельность выпускника предполагает умение осваивать новые направления профессиональной деятельности и принимать решения по текущим вопросам. Это значит, что студент должен быть готов к самообразованию в современных условиях быстрого обновления знаний.

Самостоятельная работа рассматривается как высшая форма учебной деятельности, которая носит интегральный характер и является формой самообразования. Самостоятельная работа выполняется под методическим руководством и контролем преподавателя.

Основными целями самостоятельной работы являются: развитие познавательных способностей личности; развитие самостоятельности, ответственности, организованности, инициативы; развитие самостоятельного мышления и исследовательских умений. В процессе работы происходит закрепление и систематизация знаний, углубление теоретических знаний, развитие умений работать с различными источниками информации и как результат – освоения основных компетенций.

Для успешной самостоятельной работы от студента требуется самостоятельность и самоконтроль. Самостоятельность позволит ответственно подойти к выполнению самостоятельной работы, организовать свою работу оптимальным образом, сознательно принимать нетрадиционные решения при выполнении заданий. Самоконтроль позволит студенту правильно распределить работу над учебным материалом и выполнять задания постепенно, избегая авральных ситуаций.

# 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

## *1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции*

В высшем учебном заведении лекция является важной формой учебного процесса и представляет собой в основном устное систематическое и последовательное изложение материала по какой-либо проблеме, методу, теме вопроса и т. д.

Основные функции, которые осуществляет вузовская лекция – это информативная, ориентирующая и стимулирующая, методологическая, развивающая и воспитывающая, поскольку на лекции студенты получают глубокие и разносторонние знания, развивают свои творческие способности.

Лекции могут быть вводными, обзорными, тематическими (лекции по изучению нового материала), итоговыми.

Вводные лекции подготавливают студента к восприятию данной дисциплины или ее раздела. На вводной лекции излагаются цели и задачи дисциплины, ее актуальность, практическая значимость, методы научного исследования и т.д. для того, чтобы дать целостное представление о дисциплине и вызывать интерес к предмету.

Тематические лекции посвящены глубоко осмысленному и методически подготовленному систематическому изложению содержания курса (дисциплины).

Итоговая лекция содержит основные идеи и выводы по курсу физики, выводы о достижении поставленных учебных целей.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. На лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. И как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после восприятия будет забыта. Поэтому при изучении дисциплины студентам рекомен-

дуются составлять подробный конспект лекций, так как это обеспечивает полноценную систематизацию и структурирование материала, подлежащего изучению. Конспект лекций должен отражать специфику данного курса, которая состоит в обобщении физической теории, рассматривающей процессы обмена энергией в макроскопических системах, на случай сложных, полифункциональных систем.

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометить это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Не нужно просить лектора несколько раз повторять одну и ту же фразу для того, чтобы успеть записать. Лекция не должна превращаться в своеобразный урок-диктант. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль

два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения.

Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов.

Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками. Используйте общепринятую в данном разделе дисциплины аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

## *1.2 Краткое содержание курса лекций*

### **МОДУЛЬ 1 «ТЕРМОДИНАМИКА»**

#### **Тема 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

##### *1.1 Термодинамические системы, их основные свойства и способы описания*

Характер термодинамических законов. Основные определения и понятия термодинамического описания системы (изолированная система, замкнутая система, тепловое равновесие). Макроскопические параметры. Равновесное состояние. Виды параметров, определяющих состояние систем.

##### *1.2 Постулаты термодинамики*

Первый постулат термодинамики. Температура. Нулевое начало термодинамики. Второй постулат термодинамики. Существование температуры как особой функции состояния равновесной системы.

##### *1.3 Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные процессы*

Термодинамический процесс. Равновесный и неравновесный процесс. Время релаксации.

#### **Тема 2. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ**

##### *2.1 Внутренняя энергия термодинамической системы, работа и теплота*

Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа термодинамической системы. Вычисление работы расширения системы, работы сил поверхностного натяжения, работы поляризации диэлектрика, работы намагничивания магнетика, работы деформации твердого тела.

##### *2.2. Термическое и калорическое уравнения состояния*

Термическое и калорическое уравнения состояния для идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса. Вириальная форма уравнения состояния.

##### *2.3 Физическое содержание первого начала термодинамики*

#### **Тема 3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ**

##### *3.1 Определение теплоемкости*

Теплоемкость как функция процесса. Термостат. Формула теплоемкости. Формула Р.Майера. Теплота изотермического изменения внешних параметров.

*3.2 Основные термодинамические процессы и их уравнения. Теплоемкость газов*  
Изопрцессы. Политропические процессы. Уравнение политропы. Теплоемкость в политропическом процессе.

#### **Тема 4. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ. ЭНТРОПИЯ**

##### *4.1 Формулировка второго начала термодинамики*

Качественная формулировка второго начала термодинамики: невозможность преобразования теплоты в работу без компенсации. Вечный двигатель 2 рода.

##### *4.2 Обратимые и необратимые процессы*

Понятие обратимого термодинамического процесса в узком и широком смысле. Примеры необратимых процессов.

##### *4.3 Циклические процессы. Обратимый цикл Карно. Теоремы Карно*

Определение циклического процесса. Принцип работы тепловой машины. Термический КПД. Обратимый цикл Карно, вывод его КПД. Теоремы Карно.

##### *4.4 Энтропия. Количественная формулировка второго начала термодинамики*

Определение энтропии. Свойства энтропии. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Вычисление энтропии в равновесных процессах.

*4.5 Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Закон возрастания энтропии*

Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии. Следствия из закона возрастания энтропии для неравновесных систем: изменение энтропии при диффузии газов, при теплопроводности, трении.

##### *4.6 Пределы применимости второго начала термодинамики*

##### *4.7 Третье начало термодинамики*

Формулировка третьего начала термодинамики (теоремы Нернста). Некоторые следствия из третьего начала термодинамики.



## **Тема 5. МЕТОДЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

### *5.1 Метод круговых процессов*

Метод круговых процессов (циклов). Применение метода циклов для решения некоторых задач термодинамики.

### *5.2 Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов*

Термодинамические потенциалы (характеристические функции) и их полные дифференциалы: внутренняя энергия, свободная энергия Гельмгольца, энтальпия, энтропия, термодинамический потенциал Гиббса, их физический смысл. Связь между частными и смешанными производными. Соотношения Максвелла. Применение метода термодинамических потенциалов для определения соотношений между механическими и термическими характеристиками макроскопических систем.

### *5.3 Термодинамические потенциалы сложных систем с переменным числом частиц*

Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Основное уравнение термодинамики для сложных систем с переменным числом частиц.

## **Тема 6. УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### *6.1 Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем*

Принцип виртуальных перемещений. Общее условие равновесия различных систем (изолированная система, система в термостате при постоянном объеме, система в термостате при постоянном внешнем давлении и др.). Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однородной системы.

### *6.2 Принцип Ле-Шателье – Брауна*

Формулировка принципа Ле-Шателье – Брауна. Примеры применения принципа Ле-Шателье – Брауна для анализа устойчивости равновесия различных термодинамических систем.

## **Тема 7. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ**

### *7.1 Классификация фазовых переходов по Эренфесту*

Фазы и фазовые превращения. Классификация фазовых переходов по Эренфесту.

### *7.2 Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса*

Примеры фазовых переходов 1 рода. Удельная теплота перехода. Вывод дифференциального уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Применение уравнения Клапейрона-Клаузиуса к описанию фазового перехода «жидкость-пар». Уравнение кривой испарения.

### *7.3 Фазовые переходы 2 рода. Уравнения Эренфеста*

Определение фазового перехода 2 рода, примеры. Вывод уравнений Эренфеста. Физический смысл уравнений Эренфеста. Пример: термодинамика сверхпроводящего перехода.

## **Тема 8. ТЕРМОДИНАМИКА РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### *8.1 Охлаждение газа при необратимом и обратимом адиабатных расширениях*

Эффект Джоуля-Томсона. Вывод дифференциального коэффициента Джоуля-Томсона. Температура инверсии, ее связь с постоянными Ван-дер-Ваальса и критической температурой. Охлаждение газа при обратимом адиабатном расширении.

### *8.2 Термодинамика диэлектриков и магнетиков*

Основное уравнение термодинамики для диэлектриков и магнетиков. Магнестрикция, электрострикция. Пьезоэффект. Магнитное (магнитокалорический эффект) и ядерное охлаждения.

### *8.3 Термодинамика излучения*

Понятие теплового излучения. Коэффициенты пропускания, поглощения и отражения. Абсолютно черное тело, зеркальное (белое) тело, абсолютно прозрачное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Термическое и калорическое уравнение состояния и энтропия равновесного излучения. Термодинамические потенциалы и условие устойчивости равновесного излучения.

#### *8.4 Термодинамика плазмы*

Определение плазмы. Условие полной ионизации. Внутренняя энергия плазмы. Термическое уравнение состояния плазмы.

### **Тема 9. ТЕРМОДИНАМИКА НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ**

*9.1 Исходные положения и основные уравнения термодинамики необратимых процессов*

Основные уравнения термодинамики линейных необратимых процессов (теплопроводность, диффузия, вязкость). Кинетические коэффициенты.

*9.2 Уравнения баланса и законы сохранения*

*9.3 Принцип Кюри. Диссипативные функции Онзагера*

Принцип симметрии Кюри. Диссипативные функции Онзагера. Вариационные принципы термодинамики необратимых процессов. Принцип наименьшего рассеяния энергии Онзагера. Принцип минимума производства энтропии Пригожина. Вариационный принцип Онзагера. Устойчивость стационарных состояний. Принцип Лешателье в неравновесной термодинамике.

## **МОДУЛЬ 2 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

### **Тема 1. ВВЕДЕНИЕ В СТАТИСТИЧЕСКУЮ ФИЗИКУ**

Общие вопросы теории. Законы статистической физики. Статистическая физика, как наука, опирающаяся на молекулярно – кинетическую теорию. Этапы развития статистической физики. Элементы теории вероятностей, реализуемые в статистической физике. Возможности и ограничения использования классического описания молекулярных систем. Необходимость двойственной формулировки основных положений статистической физики – квантовой и классической (квазиклассической). Задача вычислений средних значений физических величин, как одна из главных задач статистической физики. Понятия фазового пространства, плотности вероятности в классической статистической физике, вероятности состояния, матрицы плотности в квантовой статистической физике. Ансамбли в статистической физике. Среднее по времени и среднее по ансамблю. Эргодическая

гипотеза. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение в квантовом и классическом случаях. Число состояний в квазиклассическом случае. Смысл  $N!$  в знаменателе выражения для числа состояний в квазиклассическом случае.

## **Тема 2. КАНОНИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИББСА**

Канонические распределения (распределение Гиббса). Вывод канонического распределения. Запись формул канонического распределения для классического и квантового случая. График зависимости вероятности энергии от энергии. Статистическая сумма. Выражения для статистической суммы в квантовом и классическом случаях. Первое начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение для энтропии через вероятности и через число состояний. Статистический смысл закона возрастания энтропии. Третье начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение свободной энергии Гельмгольца через статистическую сумму. Значение этого выражения в практических приложениях статистической физики.

## **Тема 3. ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ**

Понятие идеального газа в молекулярно – кинетической теории, применение канонического распределения к идеальному газу. Распределение молекул по координатам и по скоростям как следствие применения канонического распределения к идеальному газу. Применение распределения Максвелла для расчета средней скорости – квадратичной скоростей молекул. Распределение молекул в поле силы тяжести. Теорема о распределении кинетической энергии молекул по степеням свободы. Классическая теория теплоемкости идеального газа и ее недостатки.

## **Тема 4. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

Выражение статистической суммы идеального газа через статистическую сумму молекул. Возможность приближенного разделения уровней энергии молекул на составляющие. Колебательные, вращательные и электронные уровни энер-

гии молекул. Представление статистической суммы молекул в виде произведения поступательной, вращательной, колебательной и электронной статистических сумм. Возможность классического расчета поступательной статистической суммы, формулы для поступательной статистической суммы. Расчет колебательной статистической суммы молекул в гармоническом приближении. Задача расчета вращательной статистической суммы и выражения для вращательной статистической суммы двухатомных молекул. Задача расчета электронной статистической суммы и возможность выражения при не очень высоких температурах электронной статистической суммы основного состояния. Формула для энтропии одноатомного идеального газа (формула Сакура - Тетроде) и сравнение расчета энтропии на этой формуле с опытом для некоторых газов. Выражения для констант равновесия химических газовых реакций через молекулярные статистические суммы. Применение этих формул для расчетов степени ионизации газов. Формула Саха.

## **Тема 5. НЕИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ**

Проблема учета взаимодействия молекул при расчете термодинамических функций неидеального газа. Общий характер зависимости потенциальной энергии молекул от расстояния между центрами молекул. Формула Леннарда-Джонса. Случаи парных и непарных (специфических) взаимодействий молекул. Конфигурационный интеграл, как сомножитель в выражении статистической суммы, отражающий взаимодействие молекул. Метод Майера разложения конфигурационного интеграла в ряд. Расчет конфигурационного интеграла в первом приближении метода Майера, групповые интегралы. Представление о диаграммной технике вычисления групповых интегралов. Термодинамические величины классической плазмы. Уравнения самосогласованного электрического поля электронов и ионов. Метод Дебая – Хюккеля. Дебаевский радиус. Метод корреляционных функций.

## **Тема 6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМИ И БОЗЕ**

Распределение Больцмана для числа частиц больших числа частиц в данном квантовом состоянии. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Понятие о вырожденном и невырожденном газе. Неравновесные бозе- и ферми-газы. Основные свойства бозе- и ферми-газов. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа. Магнетизм электронного газа. Сильные и слабые поля. Вырожденный бозе-газ. Статистика фотонов.

## **Тема 7. КОНДЕНСИРОВАННЫЕ ТЕЛА**

Твердые тела. Высокие и низкие температуры. Формула Дебая. Квантовая жидкость Сверхтекучесть. Вырожденный бозе-газ с взаимодействием.

## **Тема 8. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ**

Куперовская неустойчивость. Сверхтекучий ферми-газ. Энергетический спектр. Сверхтекучий ферми-газ. Термодинамические величины. Учет Кулоновского отталкивания. Теория Гинзбурга – Ландау.

## **Тема 9. ФЛУКТУАЦИИ**

Общая формула для вероятности флуктуации в изолированной системе. Понятие о мере (средней величине) флуктуации и относительной флуктуации. Теорема о зависимости относительной флуктуации от числа независимых частей системы. Распределение Гаусса для одного или нескольких величин. Флуктуация в системе, находящейся в термостате. Флуктуации основных физических величин. Связь флуктуации энергии и теплоемкости. Особенности флуктуации энергии при фазовых переходах и при низких температурах. Флуктуация плотности. Флуктуации в открытой системе. Формула для величины флуктуации числа частиц. Формула Пуассона.

## 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### *2.1 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям*

Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции по термодинамике и статистической физике. В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям.

Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности, особый метод подхода к физическим явлениям. Последнее тесным образом связано с методологией физики как науки.

Когда студенты решают задачи по определённой теме, очень важно, чтобы в результате знакомства с конкретными задачами они усвоили принципиальный подход к познанию достаточно широкого класса явлений.

Задачи для закрепления и контроля знаний и задачи-упражнения рассчитаны на использование готовых знаний, полученных из книг, лекций, от преподавателя. Решение таких задач опирается в основном на механизмы памяти и внимания.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях), который надо продиктовать студентам:

- 1) прочесть внимательно условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращённом виде условие задачи (когда введены стандартные обозначения, легче вспоминать формулы, связывающие соответствующие величи-

ны, чётче видно, какие характеристики заданы, все ли они выражены в одной системе единиц и т.д.);

4) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл;

6) установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;

7) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;

8) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения: он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

9) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;

10) проанализировать полученный ответ, выяснить как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

Приведенная последовательность действий при решении задач усваивается студентами, как правило, в ходе занятий, когда они на практике убеждаются в её целесообразности. Поэтому в конце занятия полезно подвести итог, сформулировать найденный алгоритм рассуждений.

## ***2.2 Примерные темы практических занятий***

### **Модуль 1 «Термодинамика»**

В таблице 1 приведены темы практических занятий по разделу «Термодинамика». Ниже приведен перечень задач, которые рассматриваются на аудиторных практических занятиях, а также предназначенных для самостоятельного решения (см. таблицу 1).



Таблица 1

№ темы	Тема занятия	Задания для выполнения в аудитории	Задания для самостоятельного решения (РГР)	Число акад. часов
1	2	3	4	5
1	Первое начало термодинамики	№№1,2,3,4,5	№№6,7,8	4
2	Термодинамическая теория теплоемкости	№№9,10,11,12	№№ 13,14,15	2
3	Второе начало термодинамики. Энтропия	№№16,17,18,19	№№ 21,22,23	2
<b>Контрольная работа Темы 1-3</b>				1
4	Методы термодинамики	№№24,25,26,27	№№28,29,30	2
5	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	№№31,32,33,34	№№35,36,37	2
6	Фазовые переходы	№№38,39,40,41	№№42,43	2
<b>Контрольная работа Темы 4-6</b>				1
7	Термодинамика различных физических систем	Семинарское занятие: обсуждение вопросов для самостоятельного изучения	Подготовка к семинарскому занятию по контрольным вопросам	2
<b>Итого за семестр</b>				<b>18</b>

1. Два моля кислорода очень медленно переводятся из состояния 1 в состояние 2. Какое количество теплоты необходимо подвести к газу, если в координатах  $PV$  процесс изображается прямой линией? В состоянии 1 газ характеризуется параметрами  $P = 1 \text{ атм}$ ,  $V = 24,6 \text{ л}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ ,  $P = 3P$ ,  $V = 2V$ .
2. Вычислить работу испарения 1 моля воды при переходе ее в пар при  $100^\circ \text{C}$  и нормальном давлении. Определить количество теплоты, сообщаемое при этом воде.
3. Вычислить работу, совершаемую за цикл перемагничивания единицы объема сердечника длинного соленоида, если известно, что площадь петли гистерезиса на диаграмме с осями  $(H, J)$  равна  $S$ .

4. Показать, что элементарная работа поляризации единицы объема диэлектрика равна  $\delta W = -(1/4\pi)E \cdot dD$ , а работа поляризации в собственном смысле равна  $\delta W_c = E \cdot dP$ .
5. Термическое и калорическое уравнения состояния идеального электронного газа связаны соотношением  $PV = 2/3 E$ . Найти для этого газа уравнение адиабаты в переменных  $P, V$ .  $E$  – внутренняя энергия газа.
6. Идеальный газ расширяется по закону  $p = aV$ . Найти графически работу, произведенную газом при увеличении объема от  $V_1$  до  $V_2$ . Поглощается или выделяется тепло при таком процессе?
7. Воздух находится в термически изолированной комнате объемом  $V = 27 \text{ м}^3$ , в которой имеется небольшое отверстие. Через него воздух может просачиваться наружу, где давление равно 1 атм. Какое количество тепла необходимо подвести в комнату, чтобы температура медленно увеличивалась от 0 до  $20^\circ\text{C}$ ? Теплоемкость воздуха можно считать постоянной  $C_p = 103 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $\gamma = 1,41$
8. Найти работу, совершаемую над молем идеального газа и количество тепла, получаемое им при сжатии от объема  $V_1$  до объема  $V_2$  в политропическом процессе  $pV^n = \text{const}$ .
9. Молярная теплоемкость идеального газа при некотором процессе изменяется по закону  $C = \alpha/T$ , где  $\alpha$  - постоянная величина. Найти уравнение, связывающее параметры  $P$  и  $V$  в этом процессе.
10. Вычислить разность  $C_p - C_v$  для газа Ван-дерВаальса.
11. Уравнение состояния некоторой термодинамической системы имеет вид  $P = AT^3$ , причем коэффициент пропорциональности  $A$  зависит от объема, но не зависит от температуры. Найти  $\partial C_v / \partial V$  в точке  $P = 10^5 \text{ Па}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ .

12. Процессы  $PV^2 = \text{const}$ ,  $P^2V = \text{const}$ ,  $P/V = \text{const}$  являются политропными  $PV^n = \text{const}$  с различными показателями политропы  $n$ . Вычислить соответствующие им теплоемкости.
13. На плоскости с координатными осями  $V$  и  $P$  через некоторую точку  $A$  проведены изотерма  $T$  и адиабата  $S$  идеального газа. Показать, что политропные процессы  $DAD'$  и  $EAE'$  происходят при отрицательной и положительной теплоемкости соответственно.
14. Моль неидеального газа находится в неограниченном сверху цилиндре, помещенном в однородное поле силы тяжести. Вычислить теплоемкость газа.
15. Определить теплоемкости идеального газа в следующих процессах: а)  $PV^2 = \text{const}$ , б)  $P^2V = \text{const}$ , в)  $P/V = \text{const}$ .
16. Работу двигателей внутреннего сгорания можно моделировать циклом, состоящим из адиабаты, изобары и изохоры. Определить теоретически КПД такого двигателя, если известно, что отношение максимального и минимального объемов газа (степень сжатия) -  $n$ .
17. Найти КПД двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Дизеля. На участке 1 -2 – адиабатное сжатие атмосферного воздуха, 2 -3 изобарное расширение (впрыскивание горючей смеси и ее сгорание), 3 -4 адиабатное расширение, 4 -1 –изохорное охлаждение. Параметрами цикла является степень сжатия  $\varepsilon = V_1/V_2$  и степень предварительного расширения  $\rho = V_1/V_2$ .
18. Вычислить энтропию газа Ван – дер – Вальса и найти уравнение его адиабаты.
19. Показать, что энтропия увеличивается, когда, например, горячая вода отдает теплоту такой же массе холодной воды, и температуры их выравниваются.
20. Идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$  совершает цикл, состоящий из: изохоры, адиабаты и изотермы, причем изотермический процесс происходит

- при максимальной температуре цикла. Найти КПД каждого цикла, если температура в его пределах изменяется в  $n$  раз.
21. Железо массой 200 г при температуре 100 °С опущено в калориметр, в котором находится 300 г воды при температуре 12°С. Пренебрегая теплоемкостью калориметра, найти изменение энтропии системы при выравнивании температур. Удельная теплоемкость железа 500 Дж/кг·К.
  22. Некоторое количество воды нагревают от 10 до 100 °С и дают ей полностью выкипеть. Какой должна быть масса воды, чтобы ее энтропия в данном процессе изменилась на 3,61 кДж/К (парообразованием при  $t < 100^\circ\text{C}$  пренебречь).
  23. Методом циклов установить зависимость давления насыщенного пара от температуры.
  24. Найти термодинамические потенциалы  $F, \Phi, H$  для моля одноатомного идеального газа.
  25. Определить термодинамические потенциалы при независимых переменных  $(P, H)$  и  $(T, F)$ .
  26. Показать, что для веществ, у которых объем линейно зависит от температуры  $T$ , теплоемкость  $C_p$  не зависит от давления.
  27. Найти уравнение адиабаты и уравнение состояния идеального газа, зная его энтальпию:  $H = C_p \cdot P^{(\gamma-1)/\gamma} \cdot \exp((s-s_0)/C_p)$ .
  28. Методом циклов найти зависимость ЭДС гальванического элемента от температуры.
  29. Показать, что для веществ, у которых давление является линейной функцией температуры  $T$ , теплоемкость  $C_v$  не зависит от объема.
  30. Энергия Гиббса некоторой системы равна:  $\Phi = aT(1 - \ln T) + RT \ln P - TS_0$ , где  $a, R$  и  $S_0$  - const. Найти термическое и калорическое уравнения состояния этой системы.

31. Найти условие равновесия в системе, состоящей из жидкости (1) и пара (2) при  $T = \text{const}$ ,  $V = \text{const}$ .
32. Показать, что в системе с  $S = \text{const}$  и  $P = \text{const}$  равновесие наступает при минимуме энтальпии  $H$ , а в системе с  $S = \text{const}$  и  $V = \text{const}$  - при минимальной внутренней энергии.
33. Определить условия равновесия двух фаз разных веществ, т.е. двухфазной двухкомпонентной системы, когда каждый компонент входит в состав только одной фазы.
34. Определить условия равновесия системы во внешнем силовом поле.
35. Для области температур, в которых удельный объем жидкости можно пренебречь по сравнению с удельным объемом пара, найти зависимость давления насыщенного пара от температуры. Удельную теплоту парообразования считать не зависящей от  $T$ .
36. Идеальный газ находится в адиабатно изолированном цилиндре с поршнем под постоянным давлением. Непосредственно вычислив вариации энтропии  $\delta S$  и  $\delta^2 S$ , показать, что при равновесии энтропия является максимальной.
37. Показать, что если в некотором состоянии  $(\partial T / \partial S)_p = 0$ , то для устойчивости такого состояния должна одновременно обращаться в нуль также и вторая производная, а  $(\partial^3 T / \partial^3 S) > 0$ .
38. Найти давление насыщенного пара, учитывая зависимость удельную теплоту перехода  $\lambda$  от температуры.
39. Найти выражение для скачка коэффициента теплового расширения  $\Delta \alpha = \alpha_n - \alpha_s$  и скачка  $\Delta K = K_n - K_s$  модуля упругости при сверхпроводящем переходе.
40. Установить связь между удельными теплотами плавления  $\lambda_{23}$  (теплота перехода твердого тела 3 в жидкость 2), испарения жидкости  $\lambda_{12}$  и сублимации  $\lambda_{13}$ .

41. Под каким давлением вода будет кипеть при  $95^{\circ}\text{C}$ ? Удельная теплота испарения воды равна  $2258,4 \text{ Дж/г}$ .
42. Найти температурную зависимость теплоты фазового перехода  $d\lambda / dT$ .
43. Определить коэффициент Джоуля-Томсона в критической точке.

## Модуль 2 «Статистическая физика»

В таблице 2 представлены темы практических занятий и содержание заданий, выполняемых на занятиях по разделу «Статистическая физика».

Таблица 2

№ темы	Тема занятия	Тематика заданий для выполнения в аудитории	Задания для самостоятельного решения (РГР)	Число акад. часов
1	2	3	4	5
1	Введение в статистическую физику	Задача вычислений средних значений физических величин. Фазовое пространство, плотности вероятности в классической статистической физике, вероятности состояния, матрицы плотности в квантовой статистической физике. Эргодическая гипотеза. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение в квантовом и классическом случаях.	РГР	2
2	Каноническое распределение (распределение Гиббса)	Канонические распределения (распределение Гиббса). Первое и третье начала термодинамики с точки зрения статистической физики. Практическое применение в статистической физике значения выражения свободной энергии Гельмгольца.	РГР	2
3	Идеальный газ	Идеальный газ. Вычисление его макроскопических характеристик.	РГР	2

1	2	3	4	5
4	Методы статистической физики при расчете термодинамических функций идеального газа.	<p>Применение распределения Максвелла для расчета средне – квадратичных скоростей молекул идеального газа.</p> <p>Идеальный газ с учетом квантовых эффектов. Двухатомный, многоатомный газы.</p> <p>Расчет колебательной статистической суммы молекул в гармоническом приближении. Задача расчета вращательной статистической суммы и выражения для вращательной статистической суммы двухатомных молекул.</p> <p>Задача расчета электронной статистической суммы и возможность выражения при не очень высоких температурах электронной статистической суммы основного состояния.</p>	РГР	2
5	Неидеальный газ	<p>Неидеальные газы. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса. Формула Леннард-Джонса.</p> <p>Расчет конфигурационного интеграла в первом приближении метода Майера, групповые интегралы.</p> <p>Примеры применения распределения Больцмана: статистическая совокупность линейных гармонических осцилляторов, электрическое поле около примесного иона в полупроводнике.</p>	РГР	2
6	Распределения Ферми и Бозе	<p>Ферми-газ элементарных частиц. Металлы и полупроводники. Вырожденный электронный газ.</p> <p>Бозе-газ элементарных частиц. Черное излучение.</p>	РГР	2
7	Конденсированные тела	Статистика твердого состояния. Теория теплоемкости Дебая.	РГР	2
8	Сверхпроводимость	Энергетический спектр. Сверхтекучий ферми-газ. Термодинамические величины.	РГР	2
9	Флуктуации	Флуктуации основных термодинамических величин. Броуновское движение. Распределение Гаусса для одного или нескольких величин.	РГР	2
10	<b>Итого за семестр</b>			<b>18</b>

*Примерные задачи по изучаемым темам*

1. Воспользовавшись распределением Больцмана, определить среднюю полную энергию для линейного гармонического осциллятора.
2. Получить выражение для потенциала электрического поля, создаваемого точечным положительным зарядом иона, окруженного облаком свободных электронов
3. Воспользовавшись каноническим распределением определить среднее значение составляющей магнитного момента атома вдоль направления магнитного поля **B**. Рассмотреть случай, когда спин каждого атома равен 1/2.
4. Рассмотрим идеальный газ, состоящий из  $N$  одноатомных молекул.
  - а) Напишите выражение для статистической суммы  $Z$  всего газа. Используя свойства экспоненциальной функции, покажите, что  $Z$  можно записать в виде  $Z = (Z_0)^N$ , где  $Z_0$  – статистическая сумма отдельной молекулы.
  - б) Вычислите среднюю энергию газа. Покажите, что средняя энергия газа должна быть в  $N$  раз больше средней энергии молекулы.
  - в) Вычислите среднее давление газа.
5. Свободная энергия реального одноатомного газа, состоящего из  $N$  молекул, может быть представлена в виде:

$$F = F_{ид} + \frac{N^2 TB(T)}{V}, \quad B(T) = \frac{1}{2} \int [1 - \exp(-U/kT)] dV$$

где  $F_{ид}$  – свободная энергия идеального газа,  $U$  - энергия взаимодействия молекул друг с другом.

- а) Определить давление газа, функцию Гиббса  $\Phi$ .
- б) Определить  $B(T)$  для- газа, частицы которого отталкиваются друг от друга по закону:  $U = \alpha / r^n$  ( $n > 3$ ).



6. При квантовомеханическом описании осциллятор характеризуется последовательностью дискретных состояний, обладающих энергией  $E_n = (n + 1/2)\hbar\omega$ , (квантовое число  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Пусть гармонический осциллятор находится в тепловом равновесии с тепловым резервуаром при абсолютной температуре  $T$ .
- Вычислить статистическую сумму  $Z$  такого осциллятора.
  - Найти выражение для средней энергии осциллятора.
  - Покажите на графике характер зависимости средней энергии  $E$  от температуры  $T$ .
  - Предположив, что температура настолько велика, что  $kT \gg \hbar\omega$ , определить предельное значение средней энергии. Как это значение зависит от  $T$ ? От  $\omega$ ?
7. Двухатомный газ находится в тепловом равновесии при температуре  $T$ . Используя квантовомеханическое описание,
- Найдите статистическую сумму  $Z_{\text{вр}}$ . Допустим, что  $T$  настолько велико, что  $kT \gg \hbar^2/2I$  ( $I$  – момент инерции молекулы). Покажите, что в этом случае  $Z_{\text{вр}}$  можно заменить интегралом, используя  $u = j(j + 1)$  в качестве непрерывной функции ( $j = 0, 1, 2, 3, \dots$  – вращательное квантовое число);
  - Вычислите среднюю энергию вращения двухатомной молекулы в указанном интервале температур.
8. Найти теплоемкости одномерного и двумерного кристаллов в модели Дебая.
9. Идеальный Ферми-газ при низкой температуре помещен в поле тяжести. Найти высоту центра тяжести столба газа над «полом» и его теплоемкость. Найти зависимость плотности газа от высоты при нулевой температуре и при температуре, близкой к нулю.
10. Идеальный Бозе-газ находится в поле  $U = (1/2)m\omega^2 r^2$ . Найти теплоемкость газа ниже точки Бозе-конденсации и скачок теплоемкости в этой точке.

## 3 ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### *3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы*

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей.

Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

Для успешной самостоятельной работы студент должен планировать свое время и за основу рекомендуется брать рабочую программу учебной дисциплины.

При организации самостоятельной работы следует взять за правило:

- учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно;
- чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3–5 часов ежедневно;
- начиная работу, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе, и напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференциальный характер, учитывать специфику специальности, изучаемой дисциплины, индивидуальные особенности студента.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

<i>для овладения знаниями</i>	<i>для закрепления и систематизации знаний</i>	<i>для формирования умений</i>
чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы)	работа с конспектом лекции	решение задач и упражнений по образцу
составление плана текста	повторная работа над учебным материалом	решение вариантов задач и упражнений
конспектирование текста	составление таблиц для систематизации учебного материала	выполнение расчетно-графических работ
работа со словарями и справочниками	изучение нормативных материалов	решение ситуационных профессиональных задач
работа с нормативными документами	ответы на контрольные вопросы	подготовка к выполнению физического эксперимента
научно-исследовательская работа	аналитическая обработка текста	проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности
использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др.	подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции	подготовка докладов по темам
создание мультимедийных презентации	подготовка рефератов, докладов	рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием мультимедийной техники

Ниже представлены рекомендации по организации работы по основным видам самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика».

### ***3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением***

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки по всем типам занятий является работа с литературой. Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины.

Для изучения дисциплины вся рекомендуемая литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы дисциплины.

К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Поскольку в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет, то рекомендуется для более углубленного изучения программного материала дополнительная литература.

Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения.

Однако при использовании интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации:

- необходимо критически относиться к информации;
- следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть;
- необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

### ***3.3 Подготовка к практическим занятиям***

Практическое занятие – вид учебных занятий, направленное на приобретение первоначальных практических навыков в решении различного вида задач в рамках изучаемой темы. А умение решать задачи – важный критерий усвоения теоретического материала.

Целью практических занятий является закрепление, расширение, углубление теоретических знаний, полученных на лекциях и в ходе самостоятельной работы, развитие познавательных способностей и формирование у студентов умений продуктивной учебной деятельности путем – решения задач различного вида; выполнения расчетно-графических работ (домашних заданий) и устного опроса по теме практического занятия.

При подготовке к практическому занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. Следует изучить конспект лекции, а также конспект материала самостоятельного изучения темы или дополнительные рекомендованные преподавателем материалы. При этом необходимо вы-

яснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте лекций по данному вопросу.

Решение физических задач требует четкого знания формулировок законов, условий применения этих законов при решении практических задач, правильного написания формул, системы единиц физических величин.

Если в процессе самостоятельной работы при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

Для практических занятий по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» у студента должна быть отдельная тетрадь. Студенту рекомендуется при подготовке к практическому занятию выписать:

- основные законы, условия их выполнения;
- пояснить физический смысл величин, входящих в закон, обозначить единицы измерения;
- графические иллюстрации, поясняющие физический смысл величин, входящих в закон;
- численные значения постоянных, входящих в математическую формулу закона;
- кратко перечислить практические случаи применения закона.

Такая подготовка способствует успешному ответу в ходе *письменного опроса*, который проводится преподавателем для закрепления изучаемого материала, а также при решении задач на практическом занятии.

*Подготовка к домашним и расчетно-графическим работам.*

Для успешного решения домашних задач и расчетно-графических работ необходимо просмотреть записи решений задач, выполненных в аудитории. При-

ступая к решению любой задачи, следует выполнять определенные правила (см. пункт 2.1).

При выполнении домашних заданий и расчетно-графических работ рекомендуется иметь отдельную тетрадь, которая находится у студента. Отчет о выполнении домашних заданий и/или расчетно-графических работ для проверки преподавателем выполняется на отдельных листах формата А1. На одном листе пишется полностью условие задачи, краткое условие, решение; чертежи выполняются аккуратно с использованием чертежных инструментов. Все численные данные переводятся в систему СИ. В конце пишется ответ.

### ***3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем***

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций.

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.
2. Внимательно прочитайте текст.
3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.
4. Выделите главное, составьте план.
5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.
6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

*Примерное содержание тем для самостоятельного изучения*

**Модуль 1 «Термодинамика»**

1. Тема: «Фазовые переходы 1 рода» - Применение уравнения Клапейрона-Клаузиуса к описанию фазового перехода «жидкость-пар». Уравнение кривой испарения.
2. Тема: «Фазовые переходы 2 рода» - Термодинамика сверхпроводящего перехода.
3. Тема: «Термодинамика диэлектриков и магнетиков» - Пьезоэффект. Магнитное (магнитокалорический эффект) и ядерное охлаждения.
4. Тема: «Термодинамика излучения» - Термическое и калорическое уравнение состояния и энтропия равновесного излучения. Термодинамические потенциалы и условие устойчивости равновесного излучения.
5. Тема: «Термодинамика плазмы» - Внутренняя энергия плазмы. Термическое уравнение состояния плазмы.
6. Тема: «Вариационные принципы термодинамики необратимых процессов» - Принцип наименьшего рассеяния энергии Онзагера. Принцип минимума производства энтропии Пригожина. Вариационный принцип Онзагера. Устойчивость стационарных состояний. Принцип Ле-Шателье в неравновесной термодинамике.

**Модуль 2 «Статистическая физика»**

1. Тема: Тепловое расширение твёрдых тел.
2. Тема: Фононы.
3. Тема: Термодинамические величины классической плазмы.
4. Тема: Отрицательные температуры.
5. Тема: Флуктуации в приборах.
6. Тема: Метод молекулярного поля в теории магнетизма.
7. Тема: Флуктуации параметра порядка.
8. Тема: Линейная реакция системы на механическое воздействие.
9. Тема: Электропроводность и магнитная восприимчивость.



10. Тема: Спектральные представления временных корреляторов и двумерные функции Грина.
11. Тема: Дисперсионные соотношения Крамерса Кронинга и принцип симметрии Онсагера.
12. Тема: Метод квазичастиц и функции Грина.
13. Тема: Уравнение Дайсона.
14. Тема: Эффективное взаимодействие и диэлектрическая проницаемость.
15. Тема: Функция Грина при конечной температуре.

### ***3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю***

*Подготовка к коллоквиуму.* Коллоквиум – одна из форм контроля полученных теоретических знаний. Коллоквиум это вид занятия, на котором обсуждаются отдельные части, разделы, темы, вопросы изучаемого курса.

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и отметить в нем имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие – то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем.

Целесообразно при подготовке к коллоквиуму выписать в отдельную тетрадь ответы на все вопросы коллоквиума – вне зависимости от того, есть ли они в материалах лекций, или были изучены по учебной литературе.

Также при подготовке к коллоквиуму рекомендуется читать вслух ответы на вопросы – это способствует развитию речи и улучшает восприятие и запоминание информации. Для лучшего усвоения основных физических законов рекомендуется прописывать формулы несколько раз на отдельном листе, а затем воспроизвести ее в контексте ответа на вопрос.

Для самопроверки рекомендуется провести следующий опыт: при закрытой тетради и т.п., положив перед собой список вопросов для подготовки к коллоквиуму, попытаться ответить на любые вопросы из этого списка.

*Подготовка к контрольной работе.* Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

Подготовка к контрольной работе включает: повторение теоретического материала по тематике контрольной работы. Особое внимание следует уделить запоминанию основных законов и примеров их применения. Для этого следует еще раз рассмотреть решения задач, которые рассматривались на практических занятиях и при решении домашних заданий или выполнении расчетно- графических работ.

*Подготовка к тестированию.* В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

Цель тестирований в ходе учебного процесса студентов состоит не только в систематическом контроле знаний, но и способствует повышению эффективности обучения учащихся, позволяет выявить уровень усвоения теоретического материала, выявить уровень практических умений и аналитических способностей студентов. А на основе этого идет коррекция процесса обучения и планируются последующие этапы учебного процесса.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содержанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятыми), следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление разверну-

того плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

- прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;
- лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;
- очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;
- если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;
- думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;
- многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;
- рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно  $1/3$ - $1/4$  запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы

набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

- процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

*Подготовка к промежуточной аттестации.* Формами промежуточной аттестации (контроля) являются экзамен и зачет. Экзамен (зачет) может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Экзамен (зачет) – форма проверки полученных теоретических и практических знаний, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения синтезировать полученные знания.

Основная цель подготовки к экзамену (зачету) – достичь понимания физических законов и явлений, а не только механически заучить материал.

Рекомендации по подготовке к экзаменационному (зачетному) тесту представлены выше.

Подготовка к устной сдаче экзамена (зачета) включает в себя несколько основных этапов:

- просмотр программы учебного курса;
- определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;
- использование конспектов лекций, материалов практических занятий;
- консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену (зачету) начинается с первого занятия по дисциплине, на котором аспиранты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде

всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена (зачета). В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.
3. За несколько дней перед экзаменом (зачетом) распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.
4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию. В процессе подготовки к экзамену (зачету) при изучении того или иного физического закона, кроме формулировки и математической записи закона, следует обратить внимание на опыты, которые обнаруживают этот закон и подтверждают его справедливость, границы и условия его применимости.
5. Для лучшего запоминания материала целесообразно работать с карандашом в руках, записывая выводимые формулы, изображая рисунки, схемы и диаграммы в отдельной тетради или на листах бумаги.
6. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно вывести формулы, воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.
7. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.
8. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и количественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

*Примерные вопросы к экзамену (модуль I «Термодинамика»)*

1. Термодинамическая система, ее параметры и равновесие (основные понятия). Постулаты термодинамики. Температура.
2. Внутренняя энергия термодинамической системы. Работа и теплота.
3. Примеры расчета работы термодинамической системы в различных процессах (расширение газа, растяжение пленки, поляризация диэлектрика, намагничивание магнетика).
4. Термическое и калорическое уравнения состояния. Термическое уравнение состояния для идеального и реального газов. Вириальная форма уравнения состояния.
5. Первое начало термодинамики.
6. Определение теплоемкости. Теплоемкость простых и сложных систем. Уравнение Майера. Теплота изотермического изменения внешних параметров.
7. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
8. Второе начало термодинамики, сущность и основные определения.
9. Обратимые и необратимые процессы. Примеры.
10. Циклы. Обратимый цикл Карно, расчет термического КПД цикла Карно. Теорема Карно.
11. Количественная формулировка второго начала термодинамики. Энтропия. Свойства энтропии.
12. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Вычисление энтропии в равновесных процессах.
13. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Следствия из закона возрастания энтропии для неравновесных систем: изменение энтропии при диффузии, теплопроводности.
14. Пределы применимости второго начала термодинамики.
15. Третье начало термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля температур.

16. Методы термодинамики. Метод круговых процессов. Пример: применение метода круговых процессов для определения зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
17. Термодинамические потенциалы и их дифференциалы (внутренняя энергия, энергия Гельмгольца, энергия Гиббса, энтальпия), физический смысл.
18. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для различных систем.
19. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
20. Условия устойчивости равновесия однородной системы. Принцип Ле-Шателье – Брауна.
21. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазовые переходы I рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Пример: применение уравнения Клапейрона –Клаузиуса к описанию фазового перехода «жидкость - пар»; вывод уравнения кривой испарения  $P=P(T)$ .
22. Фазовые переходы II рода. Уравнения Эренфеста.
23. Охлаждение газа при необратимом адиабатическом расширении. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальный коэффициент Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Возможности охлаждения газа при обратимом адиабатическом расширении.
24. Термодинамика диэлектриков и магнетиков.
25. Термодинамика теплового излучения.

*Примерные вопросы к зачету (модуль 2 «Статистическая физика»)*

1. Макроскопические и микроскопические величины, характеризующие системы, состоящие из большого числа частиц. Задачи термодинамики и статистической физики.
2. Задачи статистической физики. Понятие фазового пространства и плотности вероятности.

3. Ансамбли в статистической физике. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение. Классический и квантовый случаи.
4. Каноническое распределение. Его вывод. Каноническое распределение в классической и квантовой статистике.
5. Первое начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражения для внутренней энергии. Работы и количества тепла в статистической физике.
6. Энтропия в статистической физике. Второе начало термодинамики точки зрения статистической физики.
7. Энтропия в квазиклассической статистической физике. Число состояний в квазиклассическом случае.
8. Статистическая сумма. Квантовый и классический случаи. Связь свободной энергии Гельмгольца и статической суммы.
9. Применение канонического распределения к идеальному газу. Распределение молекул по скоростям и по координатам.
10. Распределение Максвелла. Две формы распределения Максвелла. Молекулы в поле силы тяжести. Барометрическая формула.
11. Выражение статистической суммы идеального газа через статистическую сумму молекул. Уровни энергии молекул.
12. Теорема о распределении энергии по степеням свободы. Классическая теория теплоемкости идеального газа. Ее недостатки.
13. Задачи расчета поступательной, вращательной и колебательной составляющих статистических сумм молекул.
14. Расчет колебательной составляющей статистической суммы гармонического осциллятора и его средней энергии.
15. Выражение констант равновесия химических реакций в идеальном газе через статистические суммы.
16. Проблема учета взаимодействий при расчете термодинамических функций не-



- идеального газа. Метод Майера. Связь вириальных коэффициентов с групповыми интегралами.
17. Статистическая физика открытых систем. Большое каноническое распределение и большая статистическая сумма.
  18. Применение большого канонического распределения для определения среднего числа частиц в открытой системе. Выражение для давления через большую статистическую сумму.
  19. Квантовые распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна для идеального газа. Распределение Больцмана.
  20. Типы кристаллических решеток. Закон Дюлонга и Пти. Область применения этого закона.
  21. Понятие о функции распределения частот в твердом теле. Расчет распределения в одномерном, двумерном и трехмерном кристаллах в приближении Дебая.
  22. Основы теории Дебая теплоемкости твердых тел. Определение дебаевской температуры. Связь дебаевской температуры и скорости распространения волн в кристаллах.
  23. Основы теории Борна-Кармана расчета в кристаллической решетке на примере одномерного кристалла.
  24. Электроны в металле. Приближение свободных электронов, как Ферми-частиц, движущихся внутри потенциального ящика в теории металлов. Импульс Ферми и энергии Ферми.
  25. Основы зонной теории проводимости твердых тел. Зависимость сопротивления полупроводников от температуры.
  26. Бозе-конденсация.

### ***3.6 Подготовка к другим видам работ***

*Подготовка реферата.* Цель реферата – раскрыть предложенную тему путем приведения каких-либо аргументов. Реферат не может содержать много идей. Он отражает только один вариант размышлений и развивает его. При написании реферата старайтесь четко отвечать на поставленный вопрос и не отклоняйтесь от темы.

Написание реферата предполагает изложение самостоятельных рассуждений по теме, выбранной студентом и связанной с тематикой курса.

Подготовка к написанию реферата. Прежде чем составлять план реферата, убедитесь в том, что вы внимательно прочитали и правильно поняли тему, поскольку она может быть интерпретирована по-разному, а для того чтобы ее осветить, существует несколько подходов, следовательно, необходимо будет выбрать вариант подхода, которому будете следовать, а также иметь возможность обосновать ваш выбор. При этом содержание выбранной темы может охватывать широкий спектр проблем, требующих привлечения большого объема литературы. В этом случае следует освещать только определенные аспекты этой темы.

Прежде чем приступить к написанию реферата, проанализируйте имеющуюся у вас информацию, а затем составьте тезисный план.

Структура реферата: введение, основная часть (развитие темы), заключение, библиографический список.

Введение должно включать краткое изложение вашего понимания и подход к теме реферата.

Основная часть предполагает развитие структурированной аргументации и анализа по теме, а также их логическое обоснование исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. Следует избегать повторов.

Необходимо писать коротко, четко и ясно, придерживаясь следующих требований:

- структурно выделять разделы и подразделы работы;
- логично излагать материал;
- обосновывать выводы;
- приветствуется оригинальность выводов;
- отсутствие лишнего материала, не имеющего отношение к работе;
- способность построить и доказать вашу позицию по определенным проблемам на основе приобретенных вами знаний;
- аргументированное раскрытие темы на основе собранного материала.

Заключение. В этом разделе должна содержаться информация о том, насколько удалось достичь поставленной цели. Эта часть реферата может представлять собой основные выводы по каждому разделу основной части реферата, в ней отмечается значимость выполненной работы, предложения по возможному практическому использованию результатов работы и целесообразность ее продолжения.

Библиографический список должен содержать только те источники информации, которые имеют прямое отношение к работе и использованы в ней. Библиографический список должен быть составлен в соответствии с ГОСТом АмГУ.

*Подготовка презентации и доклада.*

Доклад – сообщение по выбранной теме. Любое устное выступление должно удовлетворять *трем основным критериям*, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

- это критерий правильности, т.е. соответствия языковым нормам;
- критерий смысловой адекватности, т.е. соответствия содержания выступления реальности;
- критерий эффективности, т.е. соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Докладчик должен знать и уметь: сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме, отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный регламент.

#### Рекомендуемая структура выступления.

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы.

Само выступление должно состоять из трех частей – вступления (10-15% общего времени), основной части (60-70%) и заключения (20-25%).

Вступление включает в себя представление авторов, название доклада, цель, задачи, актуальность темы, четкое определение стержневой идеи.

Основная часть. Раскрывается суть затронутой темы – строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно материала для раскрытия темы. План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров. Логическая структура строится с помощью наглядных пособий, визуальных материалов (презентаций).

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Для подготовки презентации рекомендуется использовать :PowerPoint, MSWord, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS PowerPoint.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию.

#### Рекомендуемая последовательность подготовки презентации.

1. Четко сформулировать цель, задачи и актуальность выбранной темы.
2. Определить формат презентации.
3. Отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку подачи информации.

4. Определить ключевые моменты и содержание текста и выделить их.
5. Определить виды визуализации (иллюстрации, таблицы, графики, диаграммы и т.д.) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой информации.
6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер). Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24, для информации - для информации не менее 18. Яркие краски, сложные цветные построения, излишняя анимация, выпрыгивающий текст или иллюстрация — не самое лучшее дополнение к научному докладу. Таблицы и диаграммы размещаются на светлом или белом фоне. Также нежелательны звуковые эффекты в ходе демонстрации презентации. Для лучшей ориентации в презентации по ходу выступления лучше пронумеровать слайды.
7. Проверить визуальное восприятие презентации. После подготовки презентации необходима репетиция выступления.

Практические советы по подготовке презентации:

- готовьте отдельно: печатный текст + слайды ;
- слайды визуальная подача информации, которая должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто;
- текстовое содержание презентации - устная речь или чтение, которая должна включать аргументы, факты, доказательства;
- рекомендуемое число слайдов 10-20;
- обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего, краткие выводы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.]. – Москва: Изд-во РГТУ, 2013.– 125 с.
2. Методические рекомендации при подготовке к занятиям по физике (лекциям практике, решения задач, лабораторным работам): учебно-метод. пособие / Е. А. Попкова. – Рыбинск: ООО Изд-во «РМП», 2009. – 54 с.
3. Ансельм, А.И. Основы статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2007. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/692>. — Загл. с экрана.
4. Леонтович, М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. А. Леонтович. - СПб. : Лань, 2008. - 420 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=226](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=226)
5. Квасников, И. А. Термодинамика и статистическая физика [Текст] : в 3 т.: Учеб. пособие: Рек. УМО вузов / И. А. Квасников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Едиториал УРСС, 2003 - . - ISBN 5-354-00076-9. Т. 3 : Теория неравновесных систем. - 2003. - 447 с.
6. Лисейкина Т.А. Курс физики. Раздел шестой. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.А. Лисейкина, Т.Ю. Пинегина, А.Г. Черевко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013. — 122 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45476.html>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Организация лекционных занятий	4
1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции	4
1.2 Краткое содержание курса лекций	7
2 Организация практических занятий	15
2.1 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям	15
2.2 Примерные темы практических занятий	16
3 Организация самостоятельной работы	26
3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы	26
3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением	27
3.3 Подготовка к практическим занятиям	29
3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем	31
3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю	33
3.6 Подготовка к другим видам работ	42
Библиографический список	46

**Козачкова Ольга Викторовна,**

*доцент кафедры физики АмГУ, канд.пед. наук*

**Методическое пособие для самостоятельной работы студентов**