





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)


ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
(подпись) Ширмовский С.Э.  
(Ф.И.О. рук. ОП)  
«18» сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
теоретической и ядерной физики  
(название кафедры)

  
(подпись) Ширмовский С.Э.  
(Ф.И.О. зав. каф.)  
«18» сентября 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика  
**Направление подготовки 03.03.02 Физика**  
**Форма подготовки очная**

курс 4, семестр 7, 8  
лекции 52 час.  
практические занятия 70 час.  
лабораторные работы 0 час.  
в том числе с использованием МАО лек. 8 /пр. 70 /лаб. 0 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 122 час.  
в том числе с использованием МАО 78 час.  
самостоятельная работа 58 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.  
контрольные работы 5  
курсовая работа / курсовой проект нет  
зачет 7, 8 семестр  
экзамен 8 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДФУ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 №12-13-1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики, протокол №1 от «18» сентября 2017 г.

Заведующий кафедрой Ширмовский С.Э.  
Составитель Гой А.А.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in Physics (03.03.02).**

**Course title:** Thermodynamics, statistical physics, physical kinetics.

**Basic part of Block 1, 5 credits.**

**Instructor:** Goy Alexander A.

**At the beginning of the course a student should be able to:**

GC-4: the ability to creatively perceive and use the achievements of science and technology in the professional sphere in accordance with the needs of the regional and world labor market.

GPC-2: the ability to use basic knowledge of fundamental sections of mathematics in professional activity, create mathematical models of typical professional problems, and interpret the results obtained taking into account the limits of applicability of models.

GPC-3: the ability to use basic theoretical knowledge of the fundamental sections of general and theoretical physics to solve professional problems.

SPC-5: the ability to use specialized knowledge in the field of physics for mastering specialized physical disciplines.

**Learning outcomes:**

SPC-1: the ability to use basic knowledge of fundamental sections of mathematics in professional activity, create mathematical models of typical professional problems, and interpret the results obtained taking into account the limits of applicability of models.

**Course description:**

The course "Thermodynamics, statistical physics, physical kinetics" provides the basis for all further training of a physics student. It introduces the basic methods of theoretical description of many-particle systems (macrosystems), qualitative and quantitative analysis of equilibrium and nonequilibrium states and processes used in various sections of physics (condensed state theory, astrophysics, nuclear physics, etc.).

**Main course literature:**

1. Kvasnikov I.A. Termodinamika i statisticheskaya fizika. Tom 1. Teoriya ravnovesnykh sistem. Termodinamika [Thermodynamics and statistical physics. Volume 1. Theory of equilibrium systems. Thermodynamics] M.: Yeditorial URSS, 2002. – 240 p. (rus) – Access:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:400003&theme=FEFU>
2. Kvasnikov I.A. Kvantovaya statistika [Quantum statistics] – Moskva : URSS : Krasand, 2011. – 569 p. (rus) – Access:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:417242&theme=FEFU>
3. Borisonok S.V., Kondrat'yev A.S. Kvantovaya statisticheskaya mekhanika [Quantum statistical mechanics] Fizmatlit, 2011. – 136 p. (rus) – Access:

- [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=2672](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2672)
4. Ansel'm A. I. *Osnovy statisticheskoy fiziki i termodinamiki*. [Fundamentals of statistical physics and thermodynamics] Lan', 2007. – 448 p. (rus) – Access: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=692](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=692)
  5. Leontovich M. A. *Vvedeniye v termodinamiku*. Statisticheskaya fizika. Lan', 2008. – 432 p. (rus) – Access: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=226](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=226)
  6. Kondrat'yev A.S., Raygorodskiy P.A. *Zadachi po termodinamike, statisticheskoy fizike i kineticheskoy teorii* [Problems in thermodynamics, statistical physics, and kinetic theory] – Izdatel'stvo: "Fizmatlit", 2007. – 256 p. (rus) – Access: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=2209](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2209)

**Form of final control:** pass-fail exam and exam.

## АННОТАЦИЯ

Курс «Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» предназначен для студентов очной формы обучения направления подготовки 03.03.02 «Физика». Трудоёмкость дисциплины – 5 зачетных единиц (3 – в 7 семестре и 2 – в 8 семестре), 180 академических часов (108 – в 7 семестре и 72 – в 8 семестре). Данный курс является четвертой, заключительной частью модуля «Теоретическая физика» и базируется на материале предыдущих частей «Теоретическая механика и механика сплошных сред», «Электродинамика» и «Квантовая механика». Математической основой курса являются основные разделы курса математики (математический анализ, линейная алгебра, векторный и тензорный анализ, дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление, теория вероятностей и математическая статистика).

Лекционный курс состоит из пяти разделов «Термодинамика», «Классическая статистика», «Квантовая статистика» (7 семестр), «Квантовая статистика систем тождественных частиц» и «Физическая кинетика» (8 семестр).

Курс «Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» создает основу для всего дальнейшего обучения студента-физика. В нем вводятся основные методы теоретического описания систем многих частиц (макросистем), качественного и количественного анализа равновесных и неравновесных состояний и процессов, используемых в различных разделах физики (теория конденсированного состояния, астрофизика, ядерная физика и т.д.).

**Цель:** изучение фундаментальных принципов (начал) термодинамики, основных методов статистической физики и кинетики, их применение для описания свойств равновесных и неравновесных макроскопических систем, равновесных и неравновесных процессов.

**Задачи:**

- познакомить студентов с различными методами термодинамического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами классического микроскопического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами квантового микроскопического описания равновесных систем и процессов.

Для успешного изучения дисциплины «Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОК-4 – способность творчески воспринимать и использовать достижения науки, техники в профессиональной сфере в соответствии с потребностями регионального и мирового рынка труда;
- ОПК-2 – способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей;
- ОПК-3 – способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;
- ОПК-5 – способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1: способность использовать специализированные знания	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>• начала термодинамики;</li> <li>• основные термодинамические процессы и их уравнения;</li> </ul>

в области физики для освоения профильных физических дисциплин		<ul style="list-style-type: none"> <li>• основные термодинамические потенциалы открытых и закрытых систем;</li> <li>• классификацию фазовых переходов;</li> <li>• условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;</li> <li>• различные методы статистической физики: канонические распределения Гиббса, частичные функции распределения Боголюбова;</li> <li>• методы вычисления флуктуаций основных термодинамических величин;</li> <li>• теорию идеальных систем;</li> <li>• свойства бозе- и ферми-газов;</li> <li>• уравнения, описывающие броуновское движение;</li> <li>• кинетические уравнения для неравновесной функции распределения;</li> <li>• кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применять методы термодинамики для определения калорических и термических свойств равновесных систем;</li> <li>• получать расчетные формулы для теплоемкостей системы в различных процессах;</li> <li>• исследовать условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• применять второе начало термодинамики для расчета КПД идеальных тепловых циклов;</li> <li>• применять метод потенциалов к расчету термодинамики диэлектриков и магнетиков;</li> <li>• описывать фазовые переходы вещества;</li> <li>• определять коэффициенты переноса необратимых процессов;</li> <li>• применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;</li> <li>• вычислять флуктуаций основных термодинамических величин;</li> <li>• решать уравнение Фоккера-Планка в простейших случаях;</li> <li>• исследовать условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• применять кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации для расчета коэффициентов переноса.</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• математическим аппаратом дифференциального, интегрального исчисления;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений.</li> </ul>
--	--	---

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения

- проблемные лекции;
- семинар по решению задач в диалоговом режиме;
- работа в малых группах;
- работа с текстом в рамках самостоятельной работы.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### СЕДЬМОЙ СЕМЕСТР

#### **Раздел I. Термодинамика (16 час.)**

##### **Тема 1. Основные понятия термодинамики (2 час.)**

Предмет изучения и методы термодинамики и статистической физики. Микроскопическое и макроскопическое описание. Термодинамическая (статистическая) система. Термодинамический контакт. Термодинамическое состояние (равновесие). Причина возникновения процессов в системе. Внутренняя энергия.

##### **Тема 2. Первое начало термодинамики (2 час.)**

Внутренняя энергия как однозначная функция состояния термодинамической системы. Количества воздействия, термодинамические координаты и термодинамические силы. Различные формулировки первого начала термодинамики. Полные дифференциалы и величины, зависящие от процесса.

##### **Тема 3. Характеристические функции и дифференциальные соотношения (2 час.)**

Калорическое и термические уравнения состояния. Внутренняя энергия как характеристическая функция термодинамической системы. Другие характеристические функции термодинамической системы: свободная энергия, энтальпия и термодинамический потенциал. Дифференциальные соотношения термодинамики и их смысл.

#### **Тема 4. Метод циклов (2 час.)**

Циклические процессы. Прямой цикл Карно для идеального газа. Обратный цикл Карно. Тепловой двигатель, холодильник, тепловой насос. Приведенные теплоты.

#### **Тема 5. Второе начало термодинамики (2 час.)**

Обратимые и необратимые процессы. Принципы Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Теорема Карно-Клаузиуса. Энтропия как функция состояния. Интеграл Клаузиуса.

Равновесные и неравновесные процессы. Неравновесный теплообмен. Интеграл Клаузиуса для необратимых циклов. Объединение первого и второго начал для равновесных и неравновесных процессов.

#### **Тема 6. Третье начало термодинамики (Проблемная лекция, 2 час.)**

Тепловая теорема Нернста. Постулат Планка. Поведение термодинамических величин при стремлении температуры к абсолютному нулю. Недостижимость абсолютного нуля температуры.

#### **Тема 7. Термодинамика систем с переменным числом частиц (2 час.)**

Химический потенциал. Зависимость термодинамических функций от числа частиц. Большой термодинамический потенциал.

Гетерогенные системы. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Классификация фазовых переходов.

Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.

#### **Тема 8. Теория необратимых процессов Онсагера (2 час.)**

Содержание курса. Задачи теории неравновесных процессов. Два подхода к изучению неравновесных состояний и процессов.

Основные положения полуфеноменологическая теория необратимых процессов Онсагера. Приближение локального термодинамического равновесия. Твердое тело с градиентом температуры. Применение теории Онсагера к термоэлектрическим явлениям. термодинамические силы и потоки, коэффициенты теплопроводности, электропроводности и дифференциальной термоэдс.



## **Раздел II. Классическая статистика (12 час.)**

### **Тема 1. Механическая модель макроскопического тела (2 час.)**

Механика Лагранжа: обобщенные координаты, функция Лагранжа, уравнения Лагранжа. Механика Гамильтона: канонические переменные, функция Гамильтона, канонические уравнения, фазовое пространство.

### **Тема 2. Функция статистического распределения (2 час.)**

Определения функции распределения: временное и по ансамблю Гиббса. Эргодическая гипотеза. Средние значения физических величин. Нормировка функции распределения. Теорема Лиувилля и статистическая независимость. Функция распределения и аддитивные интегралы движения.

### **Тема 3. Микроканоническое распределение Гиббса (2 час.)**

Функция статистического распределения для изолированных систем. Связь нормировочного делителя с термодинамическими переменными. Метод микроканонического распределения Гиббса.

### **Тема 4. Каноническое распределение Гиббса (2 час.)**

Функция статистического распределения для систем, находящихся в контакте с термостатом. Статистический интеграл, модуль канонического распределения и свободная энергия. Метод канонического распределения Гиббса. Первая лемма Гиббса. Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.

### **Тема 5. Разреженные газы (2 час.)**

Микроскопическая модель: гамильтониан идеального одноатомного газа. Вычисление статистического интеграла. Свободная энергия, калорическое и термическое уравнения состояния. Парадокс Гиббса. Флуктуации энергии идеального газа.

Гамильтониан реального газа, взаимодействие молекул. Статистический интеграл и свободная энергия. Термическое и калорическое уравнения состояния. Формула Ван-дер-Ваальса.

### **Тема 6. Большое каноническое распределение (2 час.)**

Функция статистического распределения для открытых систем, ее нормировка. Статистический интеграл для большого канонического ансамбля Гиббса и большой термодинамический потенциал.

Теплоемкость одноатомного и многоатомного идеального газа. Теплоемкость твердого тела. Простейший пример распределенной системы: статистика струны.

Равновесное излучение. Уравнения электромагнитного поля. Распределение осцилляторов поля по частотам. Спектральная плотность равновесного излучения. Формула Релея-Джинса.

### **Раздел III. Квантовая статистика (8 час.)**

#### **Тема 1. Квантовая модель макроскопического тела (Проблемная лекция, 2 час.)**

Волновая функция, уравнение Шредингера, операторы физических величин. Вероятности стационарных состояний, квантовомеханическое среднее и среднее по ансамблю Гиббса.

#### **Тема 2. Квантовое каноническое распределение (2 час.)**

Условие нормировки и статистическая сумма. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Метод канонического распределения в квантовой статистике.

Линейный гармонический осциллятор: статистическая сумма, средняя энергия и теплоемкость. Формула Планка, предельный переход к формулам Вина и Релея-Джинса. Калорическое и термическое уравнения состояния.

#### **Тема 3. Статистика твердого тела (2 час.)**

Теория теплоемкости твердого тела Эйнштейна. Теория теплоемкости твердого тела Дебая. Калорическое уравнение состояния. Термическое уравнение состояния. Параметр Грюнейзена, соотношение Грюнейзена.

#### **Тема 4. Теплоемкость многоатомных газов (2 час.)**

Гамильтониан многоатомного газа, выделение степеней свободы различной природы. Теорема о вкладе степени свободы в теплоемкость. Критическая температура. Поступательные степени свободы. Квантовый ротатор: гамильтониан, энергетические уровни, волновые функции, фактор вырождения. Переход в формулах для энергии и теплоемкости к безразмерным единицам. Вращательные степени свободы. Колебательные

степени свободы. Электронные степени свободы. Зависимость теплоемкости многоатомного газа от температуры.

## ВОСЬМОЙ СЕМЕСТР

**Раздел IV. Квантовая статистика систем тождественных частиц (10 час.)**

**Тема 1. Квантовая механика и статистика систем тождественных частиц. (2 час.)**

Многочастичное и одночастичное уравнения Шредингера. Энергетические уровни многочастичной системы. Числа заполнения. Построение волновых функций многочастичных систем бозонов и фермионов. Факторы вырождения.

Каноническое и большое каноническое распределения Гиббса в терминах одночастичных энергий и чисел заполнения. Средние числа заполнения. Распределения Бозе-Эйнштейна, Ферми-Дирака и Больцмана.

**Тема 2. Химический потенциал (2 час.)**

Плотность уровней идеального одноатомного газа. Условие нормировки для средних чисел заполнения. Активность и химический потенциал классического идеального газа.

Поправки к химическому потенциалу слабо вырожденных бозе- и ферми-газов. Критерий вырождения. Уравнения состояния бозе- и ферми-газов.

**Тема 3. Сильно вырожденный ферми-газ (2 час.)**

Распределение Ферми-Дирака при низких температурах. Энергия Ферми. Химический потенциал сильно вырожденного ферми-газа. Теплоемкость металлов.

**Тема 4. Сильно вырожденный бозе-газ (Проблемная лекция, 2 час.)**

Химический потенциал идеального бозе-газа при низких температурах. Конденсация Эйнштейна. Фазовые переходы второго рода.

**Раздел V. Физическая кинетика (10 час.)**

**Тема 1. Кинетическое уравнение Больцмана (2 час.)**

Неравновесная функция распределения и ее эволюция, дрейфовые члены и столкновение молекул Столкновение частиц: кинематика столкновений, рассеяние в системе центра масс, дифференциальное сечение рассеяния. Определение коэффициентов  $a$  и  $b$ , полная форма кинетического уравнения, распределение Максвелла.

### **Тема 2. Необратимость времени (Проблемная лекция, 2 час.)**

Обратимость времени: принципы инвариантности, обратимость времени в классической механике, электродинамике и квантовой механике. Необратимость времени: необратимость времени в термодинамике, теорема возврата Пуанкаре, оценка цикла Пуанкаре.  $H$ -функция и энтропия,  $H$ -теорема Больцмана, второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Теорема о фазовом объеме, соответствующем равновесному состоянию.

### **Тема 3. Уравнения Смолуховского и Фоккера-Планка (2 час.)**

Уравнение Смолуховского: плотные газы, плотность вероятности перехода. Уравнение Фоккера-Планка: вывод уравнения для плотности вероятности перехода, вывод уравнения для функции распределения, газ в отсутствие внешнего поля, броуновское движение.

### **Тема 4. Цепочка уравнений Боголюбова для кинетических функций распределения (2 час.)**

Проблемы, связанные с уравнением Больцмана. Уравнение Лиувилля. Одночастичная функция распределения. Средние значения одночастичных величин. Уравнение для одночастичной функции распределения. Двухчастичная функция распределения. Принцип ослабления корреляций.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**Практические занятия (84 час.)**

СЕДЬМОЙ СЕМЕСТР

### **Занятие 1. Термодинамическая теория теплоёмкости однородных систем (3 час.)**

1. Используя первое начало термодинамики и дифференциальные соотношения, получить выражение для теплоемкости системы в произвольном процессе и исследовать его.

### **Занятие 2. Цикл Карно для равновесного излучения (3 час.)**

1. Равновесным излучением называется электромагнитное излучение, находящееся в равновесии с веществом стенок сосуда, в котором оно находится. Калорическое и термическое уравнения состояния такой системы имеют вид

$$u = \frac{U}{V} = \sigma T^4, \quad p = \frac{u}{3},$$

где  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана,  $u$  - плотность внутренней энергии.

Рассчитайте идеальный цикл Карно, рабочим телом которого является равновесное излучение (то есть вычислите изменения внутренней энергии, количество теплоты и совершенную работу для каждого процесса, входящего в цикл Карно). Убедитесь, что коэффициент полезного действия такого цикла, в полном соответствии с теоремой Карно-Клаузиуса, определяется только температурой нагревателя и холодильника

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

### **Занятие 3. Нахождение характеристических функций системы (3 час.)**

1. Пусть для идеального газа известно калорическое уравнение состояния в форме зависимости теплоемкости при постоянном объеме от температуры и числа частиц

$$C_v = N f(T),$$

где  $f(T)$  - известная функция температуры.

Найти свободную энергию  $F$ , внутреннюю энергию  $U$  и энтропию  $S$ .

### **Занятие 4. Характеристические функции равновесного излучения (3 час.)**

1. Определить для равновесного излучения внутреннюю энергию  $U(S, V)$ , свободную энергию  $F(T, V)$ , энтальпию  $H(S, p)$  и термодинамический потенциал  $\Phi(p, T)$  как характеристические функции (т.е. как функции естественного набора переменных).

### **Занятие 5. Коллоквиум по сильно неравновесным процессам (4 час.)**

1. Проблемы описания нашего Мира в целом. Неустойчивости в простых динамических системах. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина. Диссипативные структуры. Ячейки Бенара. Синергетика.

### **Занятие 6. Контрольная работа по термодинамике (3 час.)**

#### **Занятие 7. Одночастичные распределения (3 час.)**

1. Исходя из канонического распределения Гиббса определите распределение частиц идеального одноатомного газа во внешнем поле по координатам и импульсам (распределение Максвелла-Больцмана). Найдите распределения частиц такой системы по импульсам (распределение Максвелла) и по координатам (распределение Больцмана).

#### **Занятие 8. Идеальный газ в поле тяжести (3 час.)**

1. Идеальный газ, состоящий из  $N$  частиц массой  $m$  (подчиняющийся классической статистике), заключен в бесконечно высокий цилиндр, помещенный в однородное гравитационное поле, и находится в состоянии теплового равновесия. Вычислите статистический интеграл, свободную энергию и теплоемкость системы.

#### **Занятие 9. Идеальный газ: микроканоническое распределение Гиббса (3 час.)**

1.  $N$  частиц идеального газа заключены в объем  $V$  и подчиняются микроканоническому распределению с энергией  $E$ . Вычислить для них фазовый объем  $\Gamma$ , энтропию  $S$  и температуру  $T$ . Найти уравнение состояния газа.

#### **Занятие 10. Изобарно-изотермический ансамбль Гиббса (3 час.)**

1. Рассмотрите ансамбль систем с постоянным числом частиц и заданным давлением, находящийся в контакте с термостатом. Запишите для такого изобарно-изотермического ансамбля функцию статистического распределения и определите статистический интеграл. Выразите через этот статистический интеграл термодинамические свойства системы.

2. Найдите уравнения состояния идеального газа, находящегося в цилиндре под поршнем.

#### **Занятие 11. Коллоквиум «Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы» (4 час.)**

1. Теплоемкость одноатомного и многоатомного идеального газа.
2. Теплоемкость твердого тела.
3. Простейший пример распределенной системы: статистика струны.

### **Занятие 12. Контрольная работа по классической статистике (3 час.)**

### **Занятие 13. Система двумерных гармонических осцилляторов (3 час.)**

1. Определить теплоемкость системы, состоящей из  $N$  независимых двумерных гармонических осцилляторов, каждый из которых обладает  $(n+1)$  кратно вырожденными уровнями энергии  $\varepsilon_n = h \nu (n+1)$ .

### **Занятие 14. Отрицательные абсолютные температуры (3 час.)**

1. Система состоит из  $N$  слабо взаимодействующих со средой спиновых частиц ( $s_z = \pm 1/2$ ) во внешнем магнитном поле  $H = H_z$ . Какой температуре соответствуют минимальное и максимальное значения энергии системы? Найдите зависимость энтропии системы от энергии и проанализируйте эту зависимость.

### **Занятие 15. Коллоквиум «Квантовая модель макроскопического тела: смешанные состояния» (4 час.)**

1. Матрица плотности: координатное и энергетическое представления. Статистическая матрица, определение средних.

### **Занятие 16. Влияние ангармоничности на теплоемкость (3 час.)**

1. Колебания двухатомной молекулы при достаточно больших амплитудах становятся ангармоническими. В этом случае энергетические уровни приближенно описываются выражением

$$\varepsilon_n = h \nu \left( n + \frac{1}{2} \right) - x_1 h \nu \left( n + \frac{1}{2} \right)^2, \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $x_1$  – параметр, характеризующий степень ангармоничности. Найти влияние ангармоничности на колебательную теплоемкость с точностью до членов первого порядка по  $x_1$ .

### **Занятие 17. Двухуровневая система (3 час.)**

1. Система может находиться в двух квантовых состояниях с энергиями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Кратности вырождения состояний  $g_1$  и  $g_2$ . Получить зависимость энтропии от энергии и проанализировать эту зависимость.

### **Занятие 18. Контрольная работа по квантовой статистике (3 час.)**

## ВОСЬМОЙ СЕМЕСТР

**Занятие 19. Сильно вырожденный нерелятивистский ферми-газ (2 час.)**

1. Определите внутреннюю энергию и уравнение состояния сильно вырожденного ферми-газа.

**Занятие 20. Сильно вырожденный ультрарелятивистский ферми-газ (2 час.)**

1. Определить химический потенциал и теплоемкость ультрарелятивистского сильно вырожденного идеального ферми-газа (спин 1/2).

**Занятие 21. Слабо вырожденный бозе-газ (2 час.)**

1. Показать, что внутренняя энергия идеального бозе-газа в случае слабого вырождения имеет вид

$$E = \frac{3}{2} kTV \left( \frac{2\pi mkT}{h^2} \right)^{3/2} \sum_{l=1}^{\infty} e^{l\mu/kT} / l^{5/2},$$

где  $\mu$  - химический потенциал.

2. Написать аналогичные разложения для уравнения состояния, энтропии и свободной энергии.

**Занятие 22. Контрольная работа по статистике систем тождественных частиц (2 час.)**

**Занятие 23. Коллоквиум по основным понятиям физической кинетики (2 час.)**

1. Неравновесная функция распределения и её эволюция.
2. Цепочка уравнений Боголюбова.

**Занятие 24. Решение задач по теории Онзагера (2 час.)**

1. Определить для невырожденного электронного газа коэффициенты электропроводности и теплопроводность металла, если вдоль оси OX существует стационарный градиент температуры и приложено постоянное электрическое поле.



### **Занятие 25. Решение задач по термоэлектрическим явлениям (2 час.)**

1. Определить в дифференциальном виде зависимость Э.Д.С. гальванического элемента от температуры.

### **Занятие 26. Контрольная работа по физической кинетике (2 час.)**

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Термодинамика	ПК-1	знает: начала термодинамики; основные термодинамические процессы и их уравнения; умеет: применять второе начало термодинамики для расчета КПД идеальных тепловых циклов; владеет: математическим аппаратом дифференциального, интегрального исчисления;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №1 – 9

2	Классическая статистика	ПК-1	знает: основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №10 – 18
			умеет: применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;		
			владеет: Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений;		
3	Квантовая статистика	ПК-1	знает: основные методы описания неравновесных состояний и процессов – феноменологический (макроскопический) и микроскопический;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №19 – 23
			умеет: применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;		
			владеет: Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений;		
4	Квантовая статистика систем тождественных частиц	ПК-1	знает: свойства бозе- и ферми-газов;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №24 – 29
			умеет использовать распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака для анализа свойств систем тождественных частиц;		
			владеет методами расчета свойств многочастичных систем;		
		ПК-1	знает свойства сильно вырожденных бозе- и ферми-газов;		
			умеет использовать методы статистической физики для		

			анализа свойств бозе- и ферми-газов;		
			владеет методами расчета свойств вырожденных систем;		
5	Физическая кинетика	ПК-1	знает основы описания микроскопических неравновесных процессов;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №30 – 64
			умеет проводить анализ и классификацию неравновесных систем;		
			владеет методикой исследования неравновесных термодинамических систем;		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 1. Теория равновесных систем. Термодинамика. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:400003&theme=FEFU>
2. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.2: Теория равновесных систем: Статистическая физика. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3. Теория неравновесных систем. ДРОФА, 2014. – 450 с.
4. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 4. Квантовая статистика. ДРОФА, 2014. – 352 с.

5. Квасников И.А. Квантовая статистика – Москва : URSS : [Красанд] , 2011. – 569 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:417242&theme=FEFU>

6. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. Физматлит, 2011. – 136 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2672](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2672)

7. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. Лань, 2007. – 448 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=692](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=692)

8. Леонтович М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. Лань, 2008. – 432 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=226](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=226)

9. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории – Издательство: "Физматлит", 2007. – 256 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2209](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2209)

### **Дополнительная литература** (печатные и электронные издания)

1. Ландау, Л.Д., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Курс теоретической физики, т. 5. Статистическая физика. – М. : Физматлит, 2001. – 610 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2230/>

2. Задачи по термодинамике и статистической физике : пер. с англ. / под ред. П. Ландсберга. Москва : Мир , 1974. – 640 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:116332&theme=FEFU>

3. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика : учебное пособие. – Москва : Наука , 1982. – 608 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:46906&theme=FEFU>

4. Терлецкий Я.П. Статистическая физика : учебное пособие для студентов вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. – Москва : Высшая школа , 1994. – 349 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:41027&theme=FEFU>

5. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учебное пособие для вузов. – Новосибирск : Изд-во Новосибирского университета , 2000. – 608 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:14611&theme=FEFU>

6. Гой А.А. Термодинамика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2006.

<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/53/536/goy15.pdf>

7. Гой А.А. Классическая статистика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2007.

<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/53/536/goy12.pdf>

8. Гой А.А. Квантовая статистическая физика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2006.

<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/531/goy14.pdf>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://elementy.ru/> – «Элементы большой науки», научно-популярный сайт о последних достижениях науки и техники.

2. <http://www.youtube.com/watch?v=gUrEkPyUDJ0&list=PLNgELESbeMrOVSBa-BPD6hjnC-7LWvjGD> – Статистическая физика. Лекции профессора кафедры статистической физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета Аджемьяна Л.Ц.

3. [http://www.youtube.com/watch?v=\\_C0rQBR3FH8&index=12&list=PLIyMD12yMrBhEL2Mi6XjNA84iZxpWT4QU](http://www.youtube.com/watch?v=_C0rQBR3FH8&index=12&list=PLIyMD12yMrBhEL2Mi6XjNA84iZxpWT4QU) – Физическая кинетика. Лекции профессора кафедры теоретической физики Московского физико-технического института Максимова Л.А.

## **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Лицензионное и свободное программное обеспечение – MS PowerPoint 2007, MiKTeX и Acrobat Reader XI.

### **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия ориентированы на освещение основных тем в каждом разделе курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные основы для дальнейшей самостоятельной работы. Студенты имеют доступ к подготовленным преподавателем презентациям, используемых при чтении теоретического курса и содержащих минимально необходимый материал. Дополнительная информация по изучаемым разделам может быть получена при самостоятельном изучении рекомендованной литературы.

Важнейшим компонентом работы студента является решение физических задач, как на практических занятиях, так и задаваемых на дом – для самостоятельной работы. Решение задач – принципиально важный элемент подготовки студента-физика, так как позволяет проверить степень усвоения изучаемого материала – является ли оно формальным или творческим.

Второй важный момент – подготовка к коллоквиумам, на которых обсуждаются темы, не вошедшие в лекционный курс. Такая подготовка требует навыков работы с литературой и с источниками сети Интернет.

### **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Аудитория для чтения лекций и проведения практических занятий:

- персональный компьютер Lenovo ThinkPad E125 с лицензионным и свободным программным обеспечением – MS PowerPoint 2007 и Acrobat Reader XI;
- проектор Benq MP770;
- переносной экран.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Термодинамика, статистическая физика,  
физическая кинетика»  
Направление подготовки **03.03.02 Физика**  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2017**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	01.09.15 – 12.10.15	Работа с конспектами лекций и литературой. Подготовка к коллоквиумам.	6 час.	Опрос. Работа на коллоквиумах и решение задач.
2	13.10.15 – 23.11.15	Работа с конспектами лекций и литературой. Подготовка к коллоквиумам.	6 час.	Опрос. Работа на коллоквиумах и решение задач.
3	24.11.15 – 28.12.15	Работа с конспектами лекций и литературой. Подготовка к коллоквиумам.	6 час.	Опрос. Работа на коллоквиумах и решение задач.
4	09.02.16 – 08.03.16	Работа с конспектами лекций и литературой. Подготовка к коллоквиумам.	6 час.	Опрос. Работа на коллоквиумах и решение задач.
5	09.03.16 – 29.03.16	Работа с конспектами лекций и литературой. Подготовка к коллоквиумам.	7 час.	Опрос. Работа на коллоквиумах и решение задач.

### Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Основное содержание самостоятельной работы по курсу «Термодинамика и статистическая физика» – подготовка к практическим и семинарским занятиям (коллоквиумам).

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.;



- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
  - работа со справочниками и другой справочной литературой;
  - использование компьютерной техники и Интернета;
- 2) закрепить и систематизировать знания:
- работа с конспектом лекции;
  - решение задач;
  - обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, обучающих видеофильмов;
  - подготовка плана выступления на коллоквиуме.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Основным результатом самостоятельной работы по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» является решение аудиторных и домашних задач, подготовка к выступлениям на коллоквиуме.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Общими критериями оценки результатов самостоятельной работы студентов являются:

- уровень освоения учебного материала;
- умение активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Термодинамика, статистическая физика,  
физическая кинетика»  
Направление подготовки 03.03.02 Физика  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2017**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>• начала термодинамики;</li> <li>• основные термодинамические процессы и их уравнения;</li> <li>• основные термодинамические потенциалы открытых и закрытых систем;</li> <li>• классификацию фазовых переходов;</li> <li>• условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;</li> <li>• различные методы статистической физики: канонические распределения Гиббса, частичные функции распределения Боголюбова;</li> <li>• методы вычисления флуктуаций основных термодинамических величин;</li> <li>• теорию идеальных систем;</li> <li>• свойства бозе- и ферми-газов;</li> <li>• уравнения, описывающие броуновское движение;</li> <li>• кинетические уравнения для неравновесной функции распределения;</li> <li>• кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применять методы термодинамики для определения калорических и термических свойств равновесных систем;</li> <li>• получать расчетные формулы для теплоемкостей системы в различных процессах;</li> <li>• исследовать условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• применять второе начало термодинамики для расчета КПД идеальных тепловых циклов;</li> <li>• применять метод потенциалов к расчету термодинамики диэлектриков и магнетиков;</li> <li>• описывать фазовые переходы вещества;</li> <li>• определять коэффициенты переноса необратимых процессов;</li> <li>• применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;</li> <li>• вычислять флуктуаций основных термодинамических величин;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• решать уравнение Фоккера-Планка в простейших случаях;</li> <li>• исследовать условия устойчивого равновесия различных систем;</li> <li>• применять кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации для расчета коэффициентов переноса.</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• математическим аппаратом дифференциального, интегрального исчисления;</li> <li>• Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений.</li> </ul>

## Контроль достижений целей курса

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Термодинамика	ПК-1	знает: начала термодинамики; основные термодинамические процессы и их уравнения;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №1 – 9
	умеет: применять второе начало термодинамики для расчета КПД идеальных тепловых циклов;				
	владеет: математическим аппаратом дифференциального, интегрального исчисления;				
2	Классическая статистика	ПК-1	знает: основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №10 – 18
	умеет: применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;				
	владеет: Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений;				

3	Квантовая статистика	ПК-1	знает: основные методы описания неравновесных состояний и процессов – феноменологический (макроскопический) и микроскопический;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №19 – 23
			умеет: применять методы статистической физики к классическим и квантовым макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;		
			владеет: Фурье анализом и аппаратом дифференциальных и интегральных уравнений;		
4	Квантовая статистика систем тождественных частиц	ПК-1	знает: свойства бозе- и ферми-газов;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №24 – 29
			умеет использовать распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака для анализа свойств систем тождественных частиц;		
			владеет методами расчета свойств многочастичных систем;		
5	Физическая кинетика	ПК-1	знает основы описания микроскопических неравновесных процессов;	Контрольная работа, опросы на коллоквиумах и семинарах	Вопросы к экзамену №30 – 64
			умеет проводить анализ и классификацию неравновесных систем;		
			владеет методикой исследования неравновесных термодинамических систем;		
			владеет методами физической кинетики для изучения свойств неравновесных систем.		

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	Критерии	Показатели
--------------------------------	--------------------------------	----------	------------

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.	знает (пороговый уровень)	Основы статистического и динамического методов, принципы термодинамики, виды состояний термодинамических систем, фазовые состояния и фазовые переходы.	Знание основ статистического и динамического методов, принципов термодинамики, видов состояний термодинамических систем, фазовых состояний и фазовых переходов.	Способность сформулировать основные положения статистического и динамического методов, принципов термодинамики, видов состояний термодинамических систем, фазовых состояний и фазовых переходов.
	умеет (продвинутый уровень)	Применять статистический и термодинамический методы к решению фундаментальных задач термодинамика, статистической физики и физической кинетики: выводить основное уравнение состояния идеального газа, распределение Максвелла, Больцмана, Максвелла-Больцмана, формулу Эйнштейна-Смолуховского, законы процессов переноса в газах и жидкостях; рассчитать работу идеальной тепловой машины, на основе теорем Клаузиуса формулировать второе начало термодинамики и закон возрастания энтропии, выводить формулу Больцмана, уравнение Ван-дер-Ваальса для реальных газов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	умение на основе физических законов решать задачи; умение применять логические приемы мышления - анализ и синтез при решении задач; научно обосновывать принимаемые методы решения профессиональных задач.	способность решить задачу, воспользовавшись основными физическими законами; научно обосновывать принимаемые методы решения профессиональных задач.
	владеет (высокий уровень)	Знаниями, умениями, навыками уровня теоретической физики для решения физических задач.	владение навыками выбора оптимального пути решения задач с систем компьютерной математики;	способность произвести выбор оптимального способа решения задач, способность использования систем компьютерной математики;

**Список вопросов, выносимых на экзамен по курсу  
«Термодинамика, статистическая физика,  
физическая кинетика»**

1. Основные понятия термодинамики.
2. Первое начало термодинамики.
3. Характеристические функции и дифференциальные соотношения.
4. Метод циклов.
5. Второе начало термодинамики.
6. Неравновесные процессы.
7. Третье начало термодинамики.
8. Термодинамика систем с переменным числом частиц.
9. Термодинамическая теория фазовых переходов.
10. Механическая модель макроскопического тела.
11. Функция статистического распределения.
12. Микроканоническое распределение Гиббса.
13. Каноническое распределение Гиббса.
14. Идеальный одноатомный газ.
15. Реальный газ.
16. Большое каноническое распределение.
17. Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
18. Равновесное излучение.
19. Квантовая модель макроскопического тела: чистые состояния.
20. Квантовая модель макроскопического тела: смешанные состояния.
21. Квантовое каноническое распределение.
22. Равновесное излучение.
23. Статистика твердого тела.
24. Квантовая механика систем тождественных частиц.
25. Квантовая статистика систем тождественных частиц.
26. Химический потенциал: распределение Больцмана.
27. Слабо вырожденные идеальные бозе- и ферми-газы.
28. Сильно вырожденный ферми-газ.
29. Сильно вырожденный бозе-газ.
30. Потoki физических величин. Температура. Энтропия.
31. Второе начало термодинамики: производство энтропии.
32. Приближение локального равновесия.
33. Первое начало термодинамики в локальной формулировке.
34. Полуфеноменологическая теория необратимых процессов Онсагера.
35. Теорема о минимуме производства энтропии.

36. Твердое тело с градиентом температуры.
37. Коэффициент теплопроводности.
38. Удельная электропроводность.
39. Дифференциальная термоэлектродвижущая сила.
40. Принцип минимального производства энтропии.
41. Явление Пельтье.
42. Неустойчивости в простых динамических системах.
43. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина.
44. Диссипативные структуры. Ячейки Бенара. Синергетика.
45. Кинетическое уравнение Больцмана
46. Разреженные и плотные газы. Неравновесная функция распределения.
47. Эволюция неравновесной функции распределения.
48. Обратимость времени в классической механике.
49. Обратимость времени в классической электродинамике.
50. Обратимость времени в нерелятивистской квантовой механике.
51. Необратимость времени в термодинамике.
52. Теорема возврата Пуанкаре. Оценка цикла Пуанкаре.
53. H-функция и энтропия. H-теорема Больцмана.
54. Теорема о фазовом объеме, соответствующем равновесному состоянию.
55. Плотные газы и жидкости. Плотность вероятности перехода.
56. Уравнение Смолуховского.
57. Уравнение Фоккера-Планка.
58. Броуновское движение.
59. Уравнение Лиувилля.
60. Одночастичная функция распределения.
61. Средние значения одночастичных величин.
62. Уравнение для одночастичной функции распределения.
63. Двухчастичная функция распределения.
64. Принцип ослабления корреляций.



**ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ**  
**для проверки остаточных знаний по курсу**  
**«Термодинамика и статистическая физика»**

**ВЫБЕРИТЕ ОДИН ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:**

1. (80%) ПРИЧИНОЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАВНОВЕСНОЙ СИСТЕМЕ ЯВЛЯЕТСЯ
  - 1) взаимодействие различных частей системы
  - 2) взаимодействие с окружающей средой
  - 3) флуктуация какой-либо из физических величин
  - 4) взаимодействие атомов и молекул
  
2. (60%) ПРИВЕДЕННОЙ ТЕПЛОТОЙ НАЗЫВАЕТСЯ
  - 1) отношение количества теплоты к массе тела
  - 2) отношение количества теплоты к объему тела
  - 3) количество теплоты, полученное в изотермическом процессе
  - 4) отношение количества теплоты к температуре, при которой она получена
  - 5) отношение количества теплоты к изменению температуры
  
3. (90%) ЦИКЛ КАРНО СОСТОИТ ИЗ
  - 1) двух изохор и двух адиабат
  - 2) двух изотерм и двух адиабат
  - 3) двух адиабат и двух изобар
  - 4) двух изотерм и двух изохор
  - 5) двух изохор и двух изобар
  
4. (80%) ПРЯМОЙ ЦИКЛ КАРНО - ЭТО
  - 1) тепловой двигатель
  - 2) холодильник
  - 3) тепловой насос
  
5. (80%) УСЛОВИЕМ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МНОГОФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЯВЛЯЕТСЯ РАВЕНСТВО
  - 1) химических потенциалов каждой фазы
  - 2) удельных объемов всех фаз
  - 3) химических потенциалов каждого компонента во всех фазах
  - 4) внутренних энергий всех компонентов в различных фазах
  - 5) значений удельных энтропий компонентов во всех фазах
  
6. (70%) ТЕОРЕМА КАРНО-КЛАУЗИУСА – ЭТО УТВЕРЖДЕНИЕ О
  - 1) невозможности создания вечного двигателя второго рода
  - 2) независимости коэффициента полезного действия обратимого цикла Карно от рабочего тела
  - 3) равенстве приведенных теплот нагревателя и холодильника
  - 4) невозможности создания вечного двигателя первого рода
  - 5) том, что энтропия является функцией состояния
  
7. (60%) ПРАВИЛО ФАЗ ГИББСА – ЭТО УТВЕРЖДЕНИЕ О ТОМ, ЧТО
  - 1) число фаз не может превышать число компонентов более чем на два
  - 2) в условиях равновесия число фаз равно числу компонентов

- 3) число фаз равно числу компонентов плюс два
  - 4) в условиях равновесия число фаз не зависит от числа компонентов
  - 5) в условиях равновесия число фаз не может превышать число компонентов более чем на два
8. (90%)ФИЗИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЕТСЯ
- 1) утверждение о существовании состояния термодинамического равновесия
  - 2) утверждение о невозможности создания вечного двигателя второго рода
  - 3) закон сохранения и превращения энергии
  - 4) закон возрастания энтропии
  - 5) утверждение о постоянстве энтропии при температурах, стремящихся к абсолютному нулю
9. (80%)ФИЗИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЕТСЯ
- 1) утверждение о существовании состояния термодинамического равновесия
  - 2) утверждение о невозможности создания вечного двигателя первого рода
  - 3) закон сохранения и превращения энергии
  - 4) закон возрастания энтропии
  - 5) утверждение о постоянстве энтропии при температурах, стремящихся к абсолютному нулю
10. (60%)ФИЗИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ТРЕТЬЕГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЕТСЯ
- 1) утверждение о существовании состояния термодинамического равновесия
  - 2) утверждение о невозможности создания вечного двигателя первого рода
  - 3) закон сохранения и превращения энергии
  - 4) закон возрастания энтропии
  - 5) утверждение о постоянстве энтропии при температурах, стремящихся к абсолютному нулю
11. (90%)ФАЗОВЫМ ПРОСТРАНСТВОМ НАЗЫВАЕТСЯ
- 1) пространство фаз состояний термодинамической системы
  - 2) абстрактное пространство  $2N$  измерений, по координатным осям которого отложены координаты и скорости частиц системы
  - 3) абстрактное пространство  $2N$  измерений, по координатным осям которого отложены обобщенные координаты и импульсы частиц системы
12. (80%)ДВИЖЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗОБРАЖАЕТСЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФАЗОВОЙ
- 1) точкой
  - 2) траекторией
  - 3) гиперповерхностью
13. (80%)СОСТОЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗОБРАЖАЕТСЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФАЗОВОЙ
- 1) точкой
  - 2) траекторией
  - 3) гиперповерхностью

14. (70%) СОСТОЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ, ИЗОБРАЖАЮТСЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФАЗОВОЙ
- 1) точкой
  - 2) траекторией
  - 3) гиперповерхностью
15. (90%) ФЕРМИОНАМИ ЯВЛЯЮТСЯ ЧАСТИЦЫ
- 1) с целым спином
  - 2) с любым спином
  - 3) с полуцелым спином
  - 4) с положительным зарядом
  - 5) с отрицательным зарядом
16. (90%) БОЗОНАМИ ЯВЛЯЮТСЯ ЧАСТИЦЫ С
- 1) целым спином
  - 2) любым спином
  - 3) полуцелым спином
  - 4) положительным зарядом
  - 5) отрицательным зарядом
17. (80%) СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ФЕРМИОНОВ ОПИСЫВАЮТСЯ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ
- 1) антисимметричными волновыми функциями
  - 2) волновыми функциями с произвольной симметрией
  - 3) симметричными волновыми функциями
  - 4) действительными волновыми функциями
18. (80%) СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ БОЗОНОВ ОПИСЫВАЮТСЯ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ
- 1) антисимметричными волновыми функциями
  - 2) волновыми функциями с произвольной симметрией
  - 3) симметричными волновыми функциями
  - 4) действительными волновыми функциями
19. (70%) ДВУХАТОМНАЯ МОЛЕКУЛА ИМЕЕТ
- 1) три поступательных, одну вращательную и одну колебательную степени свободы
  - 2) три поступательных, две вращательных и одну колебательную степени свободы
  - 3) три поступательных, две вращательных, одну колебательную и электронные степени свободы
  - 4) две вращательных, одну колебательную и электронные степени свободы
  - 5) две поступательных, две вращательных, две колебательных и электронные степени свободы
20. (70%) ТРЕХАТОМНАЯ МОЛЕКУЛА ИМЕЕТ
- 1) три поступательных, одну вращательную и одну колебательную степени свободы
  - 2) три поступательных, три вращательных, одну колебательную и электронные степени свободы
  - 3) две вращательных, одну колебательную и электронные степени свободы
  - 4) две вращательных, одну колебательную и электронные степени свободы
  - 5) две поступательных, две вращательных, две колебательных и электронные степени свободы

21. (50%) ХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛАССИЧЕСКОГО ГАЗА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЯВЛЯЕТСЯ
- 1) положительным и возрастает быстрее первой степени температуры
  - 2) положительным и возрастает как первая степень температуры
  - 3) отрицательным и уменьшается медленней первой степени температуры
  - 4) отрицательным и уменьшается как квадрат температуры
  - 5) отрицательным и уменьшается быстрее первой степени температуры
22. (70%) ФАКТОРОМ ВЫРОЖДЕНИЯ НАЗЫВАЕТСЯ ЧИСЛО
- 1) различных значений энергии, соответствующих данному квантовому состоянию
  - 2) энергетических уровней на единичном частотном интервале
  - 3) различных квантовых состояний, соответствующих данному значению энергии
23. (70%) СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ВИРИАЛА ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА РАВНО
- 1) работе силы, необходимой для разрушения осциллятора
  - 2) среднему значению потенциальной энергии
  - 3) разности кинетической и потенциальной энергии
  - 4) среднему значению разности кинетической и потенциальной энергии
24. (50%) СУЩЕСТВОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ОСЦИЛЛЯТОРОВ В ТЕОРИИ ДЕБАЯ ОБУСЛОВЛЕНО
- 1) конечными размерами твердого тела
  - 2) квантовыми эффектами
  - 3) дискретной структурой твердого тела
25. (70%) СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ВЫДЕЛЕННОЙ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ, РАВНО
- 1)  $R$
  - 2)  $\theta$
  - 3)  $3\theta/2$
  - 4)  $\theta/2$
  - 5)  $2R$
26. (60%) СОДЕРЖАНИЕ ТРЕТЬЕГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ВЫРАЖАЕТСЯ ФОРМУЛОЙ
- 1)  $dU = TdS - pdV + \mu dN$
  - 2)  $dU = \bar{d}A + \bar{d}Q + \bar{d}Z$
  - 3)  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, V, p, \dots) = S_0(V, p, \dots)$
  - 4)  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, V, p, \dots) = S_0 = const$
27. (80%) ПРОЦЕСС, ПРИ КОТОРОМ НЕ ПРОИСХОДИТ НИКАКИХ ИЗМЕНЕНИЙ, КРОМЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА ОТ ГОРЯЧЕГО ТЕЛА К ХОЛОДНОМУ, ЯВЛЯЕТСЯ НЕОБРАТИМЫМ – ЭТО ПРИНЦИП
- 1) Клаузиуса
  - 2) Томсона
  - 3) Карно
  - 4) Гельмгольца

28. (80%)ПРОЦЕСС, ПРИ КОТОРОМ РАБОТА ПЕРЕХОДИТ В ТЕПЛО БЕЗ КАКИХ ЛИБО ДРУГИХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ, ЯВЛЯЕТСЯ НЕОБРАТИМЫМ – ЭТО ПРИНЦИП
- 1) Клаузиуса
  - 2) Томсона
  - 3) Карно
  - 4) Гельмгольца
29. (70%)СОСТОЯНИЕ КВАНТОВОЙ СИСТЕМЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ЗАДАННЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ, ОПИСЫВАЕТСЯ
- 1) совокупностью обобщенных координат и обобщенных импульсов
  - 2) волновой функцией
  - 3) матрицей плотности
  - 4) функцией Гамильтона
  - 5) оператором Гамильтона
30. (70%)СОСТОЯНИЕ КВАНТОВОЙ СИСТЕМЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ОКРУЖЕНИЕМ, ОПИСЫВАЕТСЯ
- 1) совокупностью обобщенных координат и обобщенных импульсов
  - 2) волновой функцией
  - 3) матрицей плотности
  - 4) функцией Гамильтона
  - 5) оператором Гамильтона
31. (60%)РАВНОВЕСНЫМ СОСТОЯНИЯМ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ СООТВЕТСТВУЕТ
- 1) подавляющая часть объема доступного фазового пространства
  - 2) все фазовое пространство
  - 3) половина объема доступного фазового пространства
  - 4) исчезающе малая часть объема доступного фазового пространства
32. (60%)КОНДЕНСАЦИЕЙ ЭЙНШТЕЙНА НАЗЫВАЕТСЯ
- 1) превращение идеального бозе-газа в жидкость
  - 2) скопление частиц идеального бозе-газа на наинизшем энергетическом уровне
  - 3) скопление частиц идеального ферми-газа на наинизшем энергетическом уровне
33. (50%)СТАЦИОНАРНЫМ РЕШЕНИЕМ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА ЯВЛЯЕТСЯ
- 1) распределение Ферми-Дирака
  - 2) распределение Максвелла-Больцмана
  - 3) каноническое распределение Гиббса
  - 4) распределение Бозе-Эйнштейна
34. (40%)ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ СОСТОЯНИЯ НАЗЫВАЕТСЯ
- 1) число макросостояний, соответствующих заданному микросостоянию
  - 2) вероятность данного состояния термодинамической системы
  - 3) число микросостояний, соответствующих заданному макросостоянию
  - 4) отношение вероятности данного состояния термодинамической системы к полной вероятности
35. (40%)Н-ТЕОРЕМА БОЛЬЦМАНА – ЭТО УТВЕРЖДЕНИЕ О ТОМ, ЧТО

- 1) в процессе установления термодинамического равновесия  $H$ -функция Больцмана остается постоянной
  - 2) в процессе установления термодинамического равновесия  $H$ -функция Больцмана монотонно убывает, достигая в равновесии наименьшего значения
  - 3) в процессе установления термодинамического равновесия  $H$ -функция Больцмана осциллирует с уменьшающейся амплитудой
  - 4) в процессе установления термодинамического равновесия  $H$ -функция Больцмана монотонно возрастает, достигая в равновесии наибольшего значения
36. (50%) ЯВЛЕНИЕ ВЫРОЖДЕНИЯ В ИДЕАЛЬНОМ БОЗЕ-ГАЗЕ СОСТОИТ В ТОМ, ЧТО
- 1) частицы газа скапливаются на нижайшем энергетическом уровне
  - 2) частицы газа заполняют в импульсном (или энергетическом) пространстве сферу определенного радиуса
  - 3) частицы газа равномерно заполняют энергетические уровни
  - 4) газ конденсируется и превращается в жидкость
37. (50%) ЯВЛЕНИЕ ВЫРОЖДЕНИЯ В ИДЕАЛЬНОМ ФЕРМИ-ГАЗЕ СОСТОИТ В ТОМ, ЧТО
- 1) частицы газа скапливаются на нижайшем энергетическом уровне
  - 2) частицы газа заполняют в импульсном (или энергетическом) пространстве сферу определенного радиуса
  - 3) частицы газа равномерно заполняют энергетические уровни
  - 4) газ конденсируется и превращается в жидкость
38. (50%) ТРЕТЬЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЕТСЯ СЛЕДСТВИЕМ
- 1) закона сохранения энергии
  - 2) принципа возрастания энтропии
  - 3) дискретности энергетических уровней макроскопической системы
  - 4) теоремы возврата Пуанкаре
  - 5) классического характера движения микрочастиц
39. (70%) ПРИНЦИП СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СОСТОИТ В ТОМ, ЧТО
- 1) вероятности состояний невзаимодействующих систем не зависят друг от друга
  - 2) функция статистического распределения не зависит от внешних условий
  - 3) состояния различных термодинамических систем независимы друг от друга
  - 4) состояние, в котором находится одна из подсистем, никак не влияет на вероятности состояний других подсистем
40. (40%) ИЗ ТЕОРЕМЫ ЛИУВИЛЛЯ СЛЕДУЕТ, ЧТО ФУНКЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
- 1) определяется значениями аддитивных интегралов движения системы
  - 2) не зависит от времени
  - 3) определяется значениями вторых интегралов движения системы
  - 4) определяется значениями первых интегралов движения системы
  - 5) зависит от времени
41. (60%) СОГЛАСНО ЗАКОНУ ДЮЛОНГА И ПТИ, МОЛЯРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА РАВНА
- 1)  $3R/2$
  - 2)  $3R$

- 3)  $3k$
- 4)  $3k/2$
- 5)  $R$

42. (80%) РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМИ-ДИРАКА ОПИСЫВАЕТ

- 1) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 2) статистическое распределение термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 3) распределение частиц идеального бозе-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 4) статистическое распределение изолированной термодинамической системы
- 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням

43. (80%) РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНА ОПИСЫВАЕТ

- 1) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 2) статистическое распределение термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 3) распределение частиц идеального бозе-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 4) статистическое распределение изолированной термодинамической системы
- 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням

44. (80%) РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬЦМАНА ОПИСЫВАЕТ

- 1) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 2) статистическое распределение термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 3) распределение частиц идеального бозе-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 4) статистическое распределение изолированной термодинамической системы
- 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням

45. (80%) МИКРОКАНОНИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИББСА ОПИСЫВАЕТ

- 1) статистическое распределение замкнутой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 2) статистическое распределение изолированной термодинамической системы
- 3) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
- 4) статистическое распределение открытой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням

46. (80%) КАНОНИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИББСА ОПИСЫВАЕТ

- 1) статистическое распределение замкнутой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
- 2) статистическое распределение изолированной термодинамической системы

- 3) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
  - 4) статистическое распределение открытой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
  - 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням
47. (80%)БОЛЬШОЕ КАНОНИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИББСА ОПИСЫВАЕТ
- 1) статистическое распределение замкнутой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
  - 2) статистическое распределение изолированной термодинамической системы
  - 3) распределение частиц идеального ферми-газа по одночастичным энергетическим уровням
  - 4) статистическое распределение открытой термодинамической системы, находящейся в контакте с термостатом
  - 5) распределение частиц классического идеального газа по одночастичным энергетическим уровням
48. (50%)ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМИ-ДИРАКА ПЕРЕХОДИТ В РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
- 1) Гиббса
  - 2) Больцмана
  - 3) Максвелла
  - 4) Бозе-Эйнштейна
49. (50%)ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНА ПЕРЕХОДИТ В РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
- 1) Гиббса
  - 2) Больцмана
  - 3) Максвелла
  - 4) Ферми-Дирака
50. (60%)ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ ОПИСЫВАЕТ ТЕОРИЯ
- 1) Дюлонга и Пти
  - 2) Эйнштейна
  - 3) Дебая

**ВЫБЕРЕТЕ ВСЕ ПРАВИЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ:**

51. (80%)СОСТОЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ
- 1) отсутствием микроскопических процессов
  - 2) аддитивностью
  - 3) устойчивостью
  - 4) транзитивностью
  - 5) коммутативностью
52. (70%)ФУНКЦИЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗЫВАЕТСЯ



$$1) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ \Delta \Gamma \rightarrow 0}} \frac{\Delta N}{T \Delta \Gamma}$$

$$2) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ \Delta \Gamma \rightarrow 0}} \frac{\Delta t}{N \Delta \Gamma}$$

$$3) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ \Delta \Gamma \rightarrow 0}} \frac{\Delta t}{T \Delta \Gamma}$$

$$4) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{\Delta \Gamma \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{\Delta t}{T \Delta \Gamma}$$

$$5) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ \Delta \Gamma \rightarrow 0}} \frac{\Delta N}{N \Delta \Gamma}$$

$$6) \quad w(q, p, t) = \lim_{\substack{N \rightarrow 0 \\ \Delta \Gamma \rightarrow 0}} \frac{\Delta t}{N \Delta \Gamma}$$

53. (80%) ТЕРМОДИНАМИКА ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ:

- 1) является феноменологической теорией
- 2) по характеру изложения является дедуктивной теорией
- 3) в основу кладется микроскопическая модель макроскопического тела
- 4) основана на квантовых законах движения микрочастиц
- 5) является макроскопической теорией

54. (80%) СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ:

- 1) является макроскопической теорией
- 2) является модельно-независимой теорией
- 3) в основу кладется микроскопическая модель макроскопического тела
- 4) использованием методов теории вероятности
- 5) является феноменологической теорией

55. (60%) ОБРАТНЫЙ ЦИКЛ КАРНО - ЭТО

- 1) тепловой двигатель
- 2) холодильник
- 3) тепловой насос

56. (30%) ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ СООТНОШЕНИЯМИ ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЮТСЯ

$$1) \quad \left( \frac{\partial T}{\partial V} \right)_S = - \left( \frac{\partial p}{\partial S} \right)_V$$

$$2) \quad \left( \frac{\partial T}{\partial S} \right)_V = - \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_S$$

$$3) \quad \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_p = \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_S$$

$$4) \quad \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$$

$$5) \quad \left( \frac{\partial p}{\partial V} \right)_S = \left( \frac{\partial p}{\partial S} \right)_V$$

$$6) \quad \left( \frac{\partial V}{\partial S} \right)_T = \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_V$$

57. (70%) УРАВНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ

$$1) \quad u = \frac{E}{V} = \sigma T^4$$

$$2) \quad E = \frac{3}{2} N k T$$

$$3) \quad pV = \frac{m}{\mu} R T$$

$$4) \quad E = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R T$$

$$5) \quad p = \frac{1}{3} \sigma T^4$$

$$6) \quad pV = \frac{m}{\mu} R T$$

58. (90%) УРАВНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА ЯВЛЯЮТСЯ

$$1) \quad pV = \frac{m}{\mu} R T$$

$$2) \quad u = \frac{E}{V} = \sigma T^4$$

$$3) \quad p = \frac{1}{3} \sigma T^4$$

$$4) \quad E = \frac{3}{2} N k T$$

$$5) \quad pV = R T$$

$$6) \quad E = \frac{3}{2} R T$$

59. (90%) ТЕРМИЧЕСКИМИ УРАВНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ

1)  $u = \frac{E}{V} = \sigma T^4$

4)  $E = \frac{3m}{2\mu} RT$

2)  $E = \frac{3}{2} NkT$

5)  $p = \frac{1}{3} \sigma T^4$

3)  $pV = \frac{m}{\mu} RT$

6)  $pV = \frac{m}{\mu} RT$

60. (90%) КАЛОРИЧЕСКИМИ УРАВНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ

1)  $pV = \frac{m}{\mu} RT$

4)  $E = \frac{3}{2} NkT$

2)  $u = \frac{E}{V} = \sigma T^4$

5)  $pV = RT$

3)  $p = \frac{1}{3} \sigma T^4$

6)  $E = \frac{3}{2} RT$

61. (80%) СОДЕРЖАНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ВЫРАЖАЕТСЯ ФОРМУЛАМИ

1)  $dU = TdS - pdV + \mu dN$

2)  $dU = dA + dQ + dZ$

3)  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, V, p, \dots) = S_0(V, p, \dots)$

4)  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, V, p, \dots) = S_0 = const$

62. (40%) ПРИНЦИП СИММЕТРИИ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ТЕОРИИ ОНЗАГЕРА ВЫРАЖАЕТСЯ ФОРМУЛОЙ

1)  $L_{ik}(\vec{H}) = -L_{ki}(-\vec{H})$

2)  $L_{ik} = L_{ki}$

3)  $L_{ik}(\vec{H}) = -L_{ki}(\vec{H})$

4)  $L_{ik}(\vec{H}) = L_{ki}(-\vec{H})$

63. (70%) ФУНКЦИЯМИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЯВЛЯЮТСЯ

1) работа

2) внутренняя энергия

3) энтропия

4) количество тепла

5) химический потенциал

64. (70%) ОТ ПРОЦЕССА, СОВЕРШАЕМОГО СИСТЕМОЙ, ЗАВИСЯТ

1) работа

2) внутренняя энергия

3) энтропия

4) количество тепла

5) химический потенциал

65. (50%) СЛЕДСТВИЯМИ ТРЕТЬЕГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ ЯВЛЯЮТСЯ УТВЕРЖДЕНИЯ О

1) невозможности вечного двигателя второго рода

2) недостижимости абсолютного нуля температуры

3) невозможности вечного двигателя первого рода

4) стремлении теплоемкости к нулю при стремлении абсолютной температуры к нулю

5) стремлении коэффициента теплового расширения к нулю при стремлении абсолютной температуры к нулю

66. (50%) РАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ
- 1) отсутствием определенной реакции системы на внешние воздействия данного рода
  - 2) полной определенностью реакции системы на внешние воздействия данного рода
  - 3) неоднородным полем термодинамических величин
  - 4) однородным полем всех термодинамических величин
  - 5) преобразованием нетепловых видов энергии в теплоту
67. (50%) НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ
- 1) отсутствием определенной реакции системы на внешние воздействия данного рода
  - 2) полной определенностью реакции системы на внешние воздействия данного рода
  - 3) неоднородным полем термодинамических величин
  - 4) однородным полем всех термодинамических величин
  - 5) преобразованием нетепловых видов энергии в теплоту
68. (50%) ТЕОРИЯ ЭЙНШТЕЙНА ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОСНОВАНА НА СЛЕДУЮЩИХ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯХ
- 1) каждый нормальный осциллятор представляет собой моду звуковых колебаний твердого тела
  - 2) твердое тело – совокупность  $3N$  одинаковых и независимых линейных осцилляторов
  - 3) движение осциллятора описывается законами классической механики
  - 4) твердое тело – совокупность  $3N$  осцилляторов с различными частотами
  - 5) движение осциллятора описывается законами квантовой механики
69. (50%) ТЕОРИЯ ДЕБАЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОСНОВАНА НА СЛЕДУЮЩИХ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯХ
- 1) каждый нормальный осциллятор представляет собой моду звуковых колебаний твердого тела
  - 2) твердое тело – совокупность  $3N$  одинаковых и независимых линейных осцилляторов
  - 3) движение осциллятора описывается законами классической механики
  - 4) твердое тело – совокупность  $3N$  линейных осцилляторов с различными частотами
  - 5) движение осциллятора описывается законами квантовой механики
70. (70%) ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ (СТАТИСТИЧЕСКАЯ) СИСТЕМА – ЭТО
- 1) макроскопическая система
  - 2) микроскопическая система
  - 3) система, подчиняющаяся законам классической механики
  - 4) система, определенным образом выделенная среди окружающих тел
  - 5) система, пространственные размеры и время существования которой достаточны для проведения нормальных процессов измерений
71. (90%) ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ПЕРВОГО РОДА ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ
- 1) наличием скрытой теплоты перехода
  - 2) скачком химического потенциала
  - 3) изменением удельного объема
  - 4) скачком первой производной химического потенциала
  - 5) скачком второй производной химического потенциала
  - 6) скачком теплоемкости при постоянном давлении
72. (80%) ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ВТОРОГО РОДА ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ
- 1) наличием скрытой теплоты перехода

- 2) скачком первой производной химического потенциала
- 3) скачком химического потенциала
- 4) изменением удельного объема
- 5) скачком теплоемкости при постоянном давлении
- 6) скачком второй производной химического потенциала

73. (40%) ХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИДЕАЛЬНОГО БОЗЕ-ГАЗА

- 1) является положительным при низких температурах
- 2) при высоких температурах является отрицательным и уменьшается быстрее первой степени температуры
- 3) обращается в нуль при температурах ниже температуры вырождения
- 4) при низких температурах квадратично убывает
- 5) является отрицательным или равным нулю при любых температурах

74. (40%) ХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИДЕАЛЬНОГО ФЕРМИ-ГАЗА

- 1) является отрицательным или равным нулю при любых температурах
- 2) является положительным при низких температурах
- 3) при высоких температурах является отрицательным и уменьшается быстрее первой степени температуры
- 4) обращается в нуль при температурах ниже температуры вырождения
- 5) при низких температурах квадратично убывает

75. (70%) СПЕКТР КВАНТОВОГО ЛИНЕЙНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА ЯВЛЯЕТСЯ

- 1) вырожденным
- 2) невырожденным
- 3) эквидистантным
- 4) неэквидистантным
- 5) ограниченным

76. (70%) СПЕКТР КВАНТОВОГО РОТАТОРА ЯВЛЯЕТСЯ

- 1) вырожденным
- 2) невырожденным
- 3) эквидистантным
- 4) неэквидистантным
- 5) ограниченным

77. (30%) ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТИПА ШОТКИ

- 1) уменьшается при стремлении температуры к бесконечности
- 2) возрастает при стремлении температуры к бесконечности
- 3) стремится к нулю при стремлении температуры к нулю
- 4) стремится к бесконечности при стремлении температуры к нулю

78. (90%) СКОРОСТЬ  $v$  И УСКОРЕНИЕ  $a$  ПРИ ОБРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ  $T$  ПРЕОБРАЗУЮТСЯ КАК

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1) $\vec{v}^T(t) = \vec{v}(-t)$                    | 3) $\vec{a}^T(t) = \vec{a}(-t)$  |
| <u>2) <math>\vec{v}^T(t) = -\vec{v}(-t)</math></u> | 4) $\vec{a}^T(t) = -\vec{a}(-t)$ |

79. (90%) ИМПУЛЬС  $p$  И МОМЕНТ ИМПУЛЬСА  $L$  ПРИ ОБРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ  $T$  ПРЕОБРАЗУЮТСЯ КАК

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1) $\vec{p}^T(t) = \vec{p}(-t)$                    | 3) $\vec{L}^T(t) = \vec{L}(-t)$  |
| <u>2) <math>\vec{p}^T(t) = -\vec{p}(-t)</math></u> | 4) $\vec{L}^T(t) = -\vec{L}(-t)$ |

80. (80%) НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  $\mathbf{E}$  И МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ  $\mathbf{B}$  ПРИ ОБРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ  $T$  ПРЕОБРАЗУЮТСЯ КАК
- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1) $\vec{E}^T(t) = -\vec{E}(-t)$ | 3) $\vec{B}^T(t) = -\vec{B}(-t)$ |
| 2) $\vec{E}^T(t) = \vec{E}(-t)$  | 4) $\vec{B}^T(t) = \vec{B}(-t)$  |
81. (80%) ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА  $\rho$  И ПЛОТНОСТЬ ТОКА  $\mathbf{j}$  ПРИ ОБРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ  $T$  ПРЕОБРАЗУЮТСЯ КАК
- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1) $\vec{\rho}^T(t) = \vec{\rho}(-t)$  | 3) $\vec{j}^T(t) = -\vec{j}(-t)$ |
| 2) $\vec{\rho}^T(t) = -\vec{\rho}(-t)$ | 4) $\vec{j}^T(t) = \vec{j}(-t)$  |
82. (70%) ОСНОВНЫМИ ПРИНЦИПАМИ ТЕОРИИ НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ ОНЗАГЕРА ЯВЛЯЮТСЯ
- 1) принцип независимости термодинамических потоков от термодинамических сил
  - 2) принцип симметрии кинетических коэффициентов
  - 3) квадратичная зависимость термодинамических потоков от термодинамических сил
  - 4) линейная связь между термодинамическими потоками и термодинамическими силами
  - 5) принцип антисимметрии кинетических коэффициентов
83. (70%) ПРИЧИНАМИ ИЗМЕНЕНИЯ НЕРАВНОВЕСНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ
- 1) возрастание энтропии системы
  - 2) движение (дрейф) частиц в  $r\nu$ -пространстве
  - 3) закон сохранения энергии
  - 4) столкновения частиц
84. (80%) СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ КВАНТОВОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА
- 1) при больших температурах пропорциональна температуре
  - 2) при больших температурах пропорциональна квадрату температуры
  - 3) при низких температурах стремится к постоянному и не равному нулю значению
  - 4) при низких температурах стремится к нулю
  - 5) при низких температурах стремится к бесконечности
85. (80%) СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ КЛАССИЧЕСКОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА
- 1) при больших температурах пропорциональна температуре
  - 2) при больших температурах пропорциональна квадрату температуры
  - 3) при низких температурах стремится к постоянному и не равному нулю значению
  - 4) при низких температурах стремится к нулю
  - 5) при низких температурах стремится к бесконечности
86. (70%) ОБРАТИМЫМИ ВО ВРЕМЕНИ ЯВЛЯЮТСЯ ЗАКОНЫ
- 1) квантовой механики
  - 2) термодинамики
  - 3) классической механики
  - 4) классической электродинамики
  - 5) статистической физики
87. (70%) НЕРАТИМЫМИ ВО ВРЕМЕНИ ЯВЛЯЮТСЯ ЗАКОНЫ
- 1) квантовой механики
  - 2) термодинамики
  - 3) классической механики

4) классической электродинамики

5) статистической физики

88. (70%) ПРИМЕРАМИ СИСТЕМ С БЕСКОНЕЧНО БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ЯВЛЯЮТСЯ

1) многоатомный идеальный газ

2) равновесное излучение

3) твердое тело

4) физическое поле

89. (50%) ДВУХАТОМНЫЙ ГАЗ ИМЕЕТ

1) три поступательные степени свободы

2) две вращательные степени свободы

3) три вращательные степени свободы

4) одну колебательную степень свободы

5) электронные степени свободы

б) две колебательные степени свободы

90. (40%) ТРЕХАТОМНЫЙ ГАЗ ИМЕЕТ

1) три поступательные степени свободы

2) две вращательные степени свободы

3) три вращательные степени свободы

4) три колебательные степени свободы

5) электронные степени свободы

б) две колебательные степени свободы

### **УПОРЯДОЧИТЕ:**

#### **УПОРЯДОЧИТЕ ПО ВОЗРАСТАНИЮ**

91. (70%) КРИТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ

\_\_\_| (2) вращательным степеням свободы

\_\_\_| (4) электронным степеням свободы

\_\_\_| (1) поступательным степеням свободы

\_\_\_| (3) колебательным степеням свободы

#### **УПОРЯДОЧИТЕ ПО ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ**

92. (80%) ПУНКТЫ ПРОГРАММЫ ГИББСА ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМ (КЛАССИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА)

\_\_\_| (3) определение энтропии системы и извлечение из нее термодинамической информации

\_\_\_| (1) формулировка микроскопической модели макроскопического тела – написание явного вида функции Гамильтона

\_\_\_| (2) вычисление нормировочного делителя

93. (80%) ПУНКТЫ ПРОГРАММЫ ГИББСА ДЛЯ ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ В КОНТАКТЕ С ТЕРМОСТАТОМ (КЛАССИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА)

\_\_\_| (2) вычисление статистического интеграла

\_\_\_| (1) формулировка микроскопической модели макроскопического тела – написание явного вида функции Гамильтона

\_\_\_| (3) определение свободной энергии и извлечение из нее термодинамической информации

94. (80%) ПУНКТЫ ПРОГРАММЫ ГИББСА ДЛЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ В КОНТАКТЕ С ТЕРМОСТАТОМ (КЛАССИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА)
- (3) определение большого термодинамического потенциала и извлечение из него термодинамической информации
  - (1) формулировка микроскопической модели макроскопического тела – написание явного вида функции Гамильтона
  - (2) вычисление большого статистического интеграла
95. (80%) ПУНКТЫ ПРОГРАММЫ ГИББСА ДЛЯ ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ В КОНТАКТЕ С ТЕРМОСТАТОМ (КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА)
- (3) определение свободной энергии и извлечение из нее термодинамической информации
  - (2) вычисление статистической суммы
  - (1) формулировка микроскопической модели макроскопического тела – написание явного вида оператора Гамильтона и решение стационарного уравнения Шредингера

**УСТАНОВИТЕ СООТВЕТСТВИЕ:**

96. (80%) МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНОЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ КООРДИНАТОЙ И СИЛОЙ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ДАННОМУ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ КОНТАКТУ
- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) давление                | A) механическая координата |
| 2) температура             | B) механическая сила       |
| 3) энтропия                | C) тепловая координата     |
| 4) химический потенциал    | D) тепловая сила           |
| 5) объем (со знаком минус) | E) материальная координата |
| 6) число частиц (масса)    | F) материальная сила       |

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 D, 3 C, 4 F, 5 A, 6 E.

97. (90%) МЕЖДУ НАЗВАНИЕМ ПРОЦЕССА И ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЕМ
- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1) инфинитезимальный процесс | A) обмена теплом нет                        |
| 2) квазистатический процесс  | B) бесконечно медленный процесс             |
| 3) обратимый процесс         | C) бесконечно малый процесс                 |
| 4) циклический процесс       | D) может быть проведен в обратном порядке   |
| 5) адиабатический процесс    | E) начинается и заканчивается в одной точке |

ОТВЕТЫ: 1 C, 2 B, 3 D, 4 E, 5 A.

98. (90%) МЕЖДУ ФОРМУЛОЙ И ЕЕ НАЗВАНИЕМ
- |   |  |
|---|--|
| 1) $w(q, p) = \frac{1}{N!} \exp \left\{ \frac{J(\Theta, V, \mu) + \mu N - H(q, p, V)}{\Theta} \right\}$ | A) микроканоническое распределение Гиббса    |
| 2) $w(q, p) = \Omega^{-1}(E, V) \delta(H(q, p, V) - E)$   | B) каноническое распределение Гиббса         |
| 3) $w(q, p) = \exp \left\{ \frac{F(\Theta, V) - H(q, p, V)}{\Theta} \right\}$                           | C) большое каноническое распределение Гиббса |

ОТВЕТЫ: 1 C, 2 A, 3 B.

99. (70%)МЕЖДУ ФОРМУЛОЙ И ЕЕ НАЗВАНИЕМ

- 1)  $E(\omega) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3} V \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{\Theta}\right)$  А) формула Планка
- 2)  $E(\omega) = \frac{\hbar\omega^3 V}{\pi^2 c^3 \left\{ \exp\left(\frac{\hbar\omega}{\Theta}\right) - 1 \right\}}$  В) формула Релея-Джинса
- 3)  $E(\omega) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \Theta V$  С) формула Вина

ОТВЕТЫ: 1 С, 2 А, 3 В.

100. (70%)МЕЖДУ ФОРМУЛОЙ И ЕЕ НАЗВАНИЕМ

- 1)  $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left\{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\Theta}\right\} - 1}$  А) распределение Больцмана
- 2)  $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left\{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\Theta}\right\} + 1}$  В) распределение Ферми-Дирака
- 3)  $\bar{n}_i = \exp\left\{\frac{\mu - \varepsilon_i}{\Theta}\right\}$  С) распределение Бозе-Эйнштейна

ОТВЕТЫ: 1 С, 2 В, 3 А.

101. (60%)МЕЖДУ ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ И ЕГО ТИПОМ

- 1) переход жидкости в газ А) фазовый переход первого рода
- 2) переход твердого тела в жидкость В) фазовый переход второго рода
- 3) переход твердого тела в газ
- 4) переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние
- 5) переход ферромагнетика в парамагнетик
- 6) переход металла в сверхпроводящее состояние
- 7) переход газа в жидкость

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 А, 3 А, 4 В, 5 В, 6 В, 7 А.

102. (90%)МЕЖДУ ТИПОМ СТАТИСТИКИ СИСТЕМЫ ОДИНАКОВЫХ ЧАСТИЦ И СПИНОМ ЧАСТИЦЫ

- 1) статистика Ферми-Дирака А) полуцелый спин
- 2) статистика Бозе-Эйнштейна В) целый спин

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 В.

103. (50%)МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ И ЕЕ ЕСТЕСТВЕННЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

- 1) внутренняя энергия  $U$  А) давление  $p$  и температура  $T$
- 2) свободная энергия  $F$  В) объем  $V$  и энтропия  $S$
- 3) энтальпия  $H$  С) давление  $p$  и энтропия  $S$
- 4) термодинамический потенциал  $\Phi$  D) температура  $T$  и объем  $V$

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 D, 3 С, 4 А.

104. (50%)СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ РАВНОВЕСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОРРЕКТНО ОПИСЫВАЕТСЯ ФОРМУЛОЙ

- 1)  $E(\omega) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3} V \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{\Theta}\right)$  А) при всех частотах
- 2)  $E(\omega) = \frac{\hbar\omega^3 V}{\pi^2 c^3 \left\{ \exp\left(\frac{\hbar\omega}{\Theta}\right) - 1 \right\}}$  В) при низких частотах
- 3)  $E(\omega) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \Theta V$  С) при высоких частотах

ОТВЕТЫ: 1 С, 2 А, 3 В.



105. (80%)МЕЖДУ ФУНКЦИЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВИЯМИ, В КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

- |  |   |
|--|---|
| 1) микроканоническое распределение Гиббса    | A) замкнутая система при постоянной температуре |
| 2) каноническое распределение Гиббса         | B) изолированная система                        |
| 3) большое каноническое распределение Гиббса | C) открытая система при постоянной температуре  |

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 А, 3 С.

106. (70%)МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ И ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1) свободная энергия $F$                   | A) $U + pV$      |
| 2) энтальпия $H$                           | B) $U - TS$      |
| 3) термодинамический потенциал $\Phi$      | C) $-pV$         |
| 4) большой термодинамический потенциал $J$ | D) $U - TS + pV$ |

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 А, 3 D, 4 С.

107. (70%)МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ И ЕЕ ПОЛНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛОМ

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1) внутренняя энергия $U$                  | A) $-S dT - p dV + \mu dN$ |
| 2) свободная энергия $F$                   | B) $T dS + V dp + \mu dN$  |
| 3) энтальпия $H$                           | C) $T dS - p dV + \mu dN$  |
| 4) термодинамический потенциал $\Phi$      | D) $-S dT - p dV - N d\mu$ |
| 5) большой термодинамический потенциал $J$ | E) $-S dT + V dp + \mu dN$ |

ОТВЕТЫ: 1 С, 2 А, 3 В, 4 Е, 5 D.

108. (80%)МЕЖДУ УСЛОВИЯМИ, В КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ФУНКЦИЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

- |   |  |
|---|--|
| 1) замкнутая система при постоянной температуре | A) микроканоническое распределение Гиббса    |
| 2) изолированная система                        | B) каноническое распределение Гиббса         |
| 3) открытая система при постоянной температуре  | C) большое каноническое распределение Гиббса |

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 А, 3 С.

109. (60%)МЕЖДУ ТЕПЛОВОЙ МАШИНОЙ И ЦИКЛОМ КАРНО

- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| 1) тепловой насос     | A) обратный цикл Карно |
| 2) холодильник        | B) прямой цикл Карно   |
| 3) тепловой двигатель |                        |

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 А, 3 В.

110. (80%)МЕЖДУ СИСТЕМОЙ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ И СРЕДНИМИ ЧИСЛАМИ ЗАПОЛНЕНИЯ

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1) система тождественных фермионов | A) $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left\{\frac{\epsilon_i - \mu}{\Theta}\right\} - 1}$ |
| 2) система тождественных бозонов   | B) $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left\{\frac{\epsilon_i - \mu}{\Theta}\right\} + 1}$ |

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 А.

111. (80%)МЕЖДУ ТИПОМ СИММЕТРИИ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ МНОГОЧАСТИЧНОЙ СИСТЕМЫ И СПИНОМ ЧАСТИЦ

- 1) симметричная волновая функция      А) частицы с целым спином  
2) антисимметричная волновая функция      В) частицы с полуцелым спином

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 В.

112. (70%)МЕЖДУ СПИНОМ ЧАСТИЦ И СРЕДНИМИ ЧИСЛАМИ ЗАПОЛНЕНИЯ

- 1) целый спин      А)  $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\Theta}\} - 1}$   
2) полуцелый спин      В)  $\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\{\frac{\varepsilon_i - \mu}{\Theta}\} + 1}$

ОТВЕТЫ: 1 А, 2 В.

113. (80%)МЕЖДУ НАЧАЛАМИ ТЕРМОДИНАМИКИ И ФОРМУЛАМИ, ИМ СООТВЕТСТВУЮЩИМИ

- 1) первое начало      А)  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T, V, p, \dots) = S_0 = const$   
2) второе начало      В)  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$   
3) третье начало      С)  $dU = TdS - pdV + \mu dN$

ОТВЕТЫ: 1 С, 2 В, 3 А.

114. (80%)МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ И ПРОИЗВОДНЫМИ БОЛЬШОГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

- 1) энтропия  $S$       А)  $-\left(\frac{\partial J}{\partial \mu}\right)_{V,T}$   
2) давление  $p$       В)  $-\left(\frac{\partial J}{\partial p}\right)_{V,T}$   
3) число частиц  $N$       С)  $-\left(\frac{\partial J}{\partial V}\right)_{T,\mu}$   
D)  $-\left(\frac{\partial J}{\partial \mu}\right)_{V,p}$   
E)  $-\left(\frac{\partial J}{\partial T}\right)_{V,\mu}$

ОТВЕТЫ: 1 Е, 2 С, 3 А.

115. (50%)МЕЖДУ ФОРМУЛАМИ И ИХ СМЫСЛОМ

- 1)  $\oint \frac{dQ}{T} > 0$       А) интеграл Клаузиуса для обратимых циклов  
2)  $\oint \frac{dQ}{T} \geq 0$       В) интеграл Клаузиуса для необратимых циклов  
3)  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$       С) интеграл Клаузиуса для любых циклов  
4)  $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$       Д) неправильная формула  
5)  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$

ОТВЕТЫ: 1 Д, 2 Д, 3 В, 4 С, 5 А.

116. (80%)МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ И ПРОИЗВОДНЫМИ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

- 1) давление  $p$       А)  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$

- 2) температура  $T$
- В)  $-\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$   
 С)  $-\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_P$   
 D)  $\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$   
 E)  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P$

ОТВЕТЫ: 1 В, 2 D.

117. (80%)МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ И ПРОИЗВОДНЫМИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

- 1) энтропия  $S$
- А)  $\left(\frac{\partial \Phi}{\partial p}\right)_T$   
 B)  $\left(\frac{\partial \Phi}{\partial S}\right)_V$   
 C)  $-\left(\frac{\partial \Phi}{\partial p}\right)_T$   
 D)  $\left(\frac{\partial \Phi}{\partial T}\right)_P$   
 E)  $-\left(\frac{\partial \Phi}{\partial T}\right)_P$
- 2) объем  $V$

ОТВЕТЫ: 1 E, 2 A.

118. (80%)МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ И ПРОИЗВОДНЫМИ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ

- 1) энтропия  $S$
- А)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$   
 B)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$   
 C)  $-\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$   
 D)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_P$   
 E)  $-\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$
- 2) давление  $p$

ОТВЕТЫ: 1 C, 2 E.

119. (80%)МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ И ПРОИЗВОДНЫМИ ЭНТАЛЬПИИ

- 1) температура  $T$
- А)  $\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$   
 B)  $-\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$   
 C)  $-\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$   
 D)  $\left(\frac{\partial H}{\partial V}\right)_S$   
 E)  $\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$
- 2) объем  $V$

ОТВЕТЫ: 1 A, 2 E.

120. (70%)МЕЖДУ ФОРМУЛАМИ И ИХ СМЫСЛОМ

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\dot{S} = \sum_k X_k J_k$           | A) принцип симметрии кинетических коэффициентов                             |
| 2) $J_l = \sum_k L_{lk} X_k$            | B) теорема о производстве энтропии  |
| 3) $L_{ik}(\vec{H}) = L_{ki}(-\vec{H})$ | C) связь термодинамических потоков и сил                                    |
| 4) $L_{ik} = L_{ki}$                    | D) принцип симметрии кинетических коэффициентов при наличии магнитного поля |

ОТВЕТЫ: 1 B, 2 C, 3 D, 4 A.