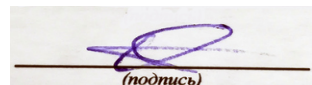


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра теоретической физики

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан физического факультета



(подпись)

И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Статистическая физика и термодинамика»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
Интегральная электроника и наноэлектроника

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Статистическая физика и термодинамика» являются ознакомление студентов с основами термодинамики, статистической физики и физической кинетики, занимающимися изучением физических процессов в макроскопических системах, содержащих огромное, но конечное, число микроскопических частиц (электронов, атомов, молекул, различных полей). Хотя объект исследования является общим, методы изучения различны. Термодинамический метод не опирается ни на какие модельные представления об атомно-молекулярной структуре вещества, а статистический метод с самого начала основан на модельных атомно-молекулярных представлениях. Данный курс вырабатывает у студентов навыки использования математического аппарата термодинамики и статистической физики для анализа конкретных моделей сложных макроскопических систем.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Статистическая физика и термодинамика» дает студентам базовые знания по основам термодинамики и статистической физики и является базовой частью модуля «Теоретическая физика».

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом линейной алгебры, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать основы теоретической механики, электродинамики и квантовой механики. Полученные в курсе «Статистическая физика и термодинамика» знания необходимы для изучения последующих курсов по специальности, а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению «Электроника и наноэлектроника».

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ОПК-1</b> Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<b>ИД-ОПК-1_2</b> Осуществляет постановку задачи, выбирает способ ее решения	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- об основных понятиях термодинамики и статистической физики и их месте в физике;</li><li>- основные законы (начала) термодинамики и статистической физики;</li><li>- основные канонические функции распределения в классической статистической физике;</li><li>- связь статистической физики с термодинамикой;</li><li>- условия термодинамической устойчивости системы.</li></ul>

		<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать математический аппарат термодинамики и статистической физики;</li> <li>- анализировать поведение простейших систем.</li> <li>- использовать изученные методы в флуктуационных явлениях.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- математическим аппаратом термодинамики и статистической физике;</li> <li>- навыками использования знаний для анализа простейших систем.</li> </ul>
--	--	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Контактная работа						самостоятельная работа
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение в термодинамику. Математический аппарат термодинамики	7	6	6		1		1	Задания для самостоятельной работы
	Третье начало термодинамики. Условия термодинамического равновесия	7	6	9		2		2	Контрольная работа № 1
	в том числе с ЭО и ДОТ					1		1	
3	Вопросы общей теории фазовых превращений. Термодинамические системы во внешних полях	7	6	9		2		2	Задания для самостоятельной работы
4	Введение в	7	6	9		1		1	Задания для

	статистическую физику. Применение классической статистической физики к равновесным системам								самостоятельной работы
5	Принципы квантовой статистической физики. Идеальные квантовые газы. Системы тождественных частиц	7	6	9		1		1	Задания для самостоятельной работы
6	Теория флуктуаций. Броуновское движение и вопросы теории случайных процессов.	7	6	12		2		2	Контрольная работа № 2
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего за 7 семестр		36	54		11	0,5	42,5	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					1		1	
	<b>Всего</b>		<b>36</b>	<b>54</b>		<b>11</b>	<b>0,5</b>	<b>42,5</b>	

Содержание разделов дисциплины:

### Термодинамика

#### 1. Введение в термодинамику. Математический аппарат термодинамики.

1.1.1. Предмет и задачи термодинамики. Термодинамическая система и термодинамические параметры.

1.1.2. Постулаты термодинамики. Нулевое начало термодинамики.

#### 1.2. Первое начало термодинамики.

1.2.1. Применение первого начала термодинамики к инфинитезимальным процессам. Теплоемкость.

1.2.2. Уравнения состояния системы.

1.2.3. Основные термодинамические процессы и их уравнения.

#### 1.3. Второе начало термодинамики.

1.3.1. Обратимые и необратимые процессы и циклы. Обратимая машина Карно.

1.3.2. Теорема Карно-Клаузиуса. Энтропия.

1.3.3. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла. Границы применимости второго начала термодинамики

#### 1.4. Термодинамические методы

1.4.1. Метод круговых циклов.

1.4.2. Метод термодинамических потенциалов.

1.4.3. Метод определителей Якоби.

#### 1.5. Термодинамика простейших систем.

1.5.1. Термодинамика идеального газа. Парадокс Гиббса.

1.5.2. Процесс Гей-Люссака и эффект Джоуля-Томсона.

#### 2. Третье начало термодинамики. Условия термодинамического равновесия.

2.1. Тепловая теорема Нернста.

2.2. Следствия третьего начала термодинамики.

2.3. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости равновесного состояния.

2.4. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье и Ле-Шателье-Брауна. Общие условия.

2.5. Равновесие в гомогенной системе. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Закон «разведения» Оствальда.

2.6. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса.

- 3. Вопросы общей теории фазовых превращений. Термодинамические системы во внешних полях.**
- 3.1. Классификация фазовых переходов.
  - 3.2. Теория фазовых переходов второго рода
  - 3.3. Электрохимический потенциал. Условие термодинамического равновесия систем во внешних потенциальных полях.
  - 3.4. Барометрическая формула. Условие химического равновесия во внешних потенциальных полях.

#### **Статистическая физика**

- 4. Введение в статистическую физику. Применение классической статистической физики к равновесным системам.**
- 4.1. Постулаты классической статистической физики
  - 4.2. Канонические функции распределения в классической статистической физике.
  - 4.3. Связь канонического ансамбля с микроканоническим ансамблем.
  - 4.4. Распределение Максвелла–Больцмана
  - 4.5. Изотермическая атмосфера.
  - 4.6. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теорема о вириале.
- 5. Принципы квантовой статистической физики. Идеальные квантовые газы.**
- 5.1.1. Чистые и смешанные ансамбли и средние по ансамблю в квантовой статистической физике.
  - 5.1.2. Матрицы плотности микроканонического, канонического и большого канонического ансамблей.
  - 5.2. **Формализм вторичного квантования. Обоснование статистической физики.**
    - 5.2.1. Вывод функции распределения для идеальных ферми- и бозе-газов и газа Больцмана с помощью микроканонического ансамбля.
    - 5.2.2. Вывод функции распределения для идеальных газов с помощью большого канонического ансамбля.
  - 5.3. **Физические системы квантовых частиц.**
    - 5.3.1. Модель свободного электронного газа в металлах.
    - 5.3.2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
    - 5.3.3. Термодинамика теплового излучения. Формула Планка.
    - 5.3.4. Фононы. Теория теплоемкости Дебая.
  - 5.4. **Больцмановский квантовый газ.**
    - 5.4.1. Квантование поступательного движения молекул.
    - 5.4.2. Двухатомные молекулы. Колебательные степени свободы.
    - 5.4.3. Двухатомные молекулы. Вращательные степени свободы.
- 6. Теория флуктуаций. Броуновское движение и вопросы теории случайных процессов.**
- 6.1. Вычисление флуктуаций по методу Гиббса.
  - 6.2. Квазирмодинамическая теория малых флуктуаций. Теория "голубого цвета неба" Релея.
  - 6.3. Броуновское движение. Формула Эйнштейна для среднего квадратичного смещения броуновской частицы.
  - 6.4. Автокорреляционная функция. Спектральная плотность случайного процесса. Соотношения Винера-Хинчина.

**5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция с элементами лекции-беседы** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Статистическая физика и термодинамика» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Кузнецов В.С. Основы термодинамики : текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль ЯрГУ, 2006. — 79 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20051718.pdf>
2. Кузнецов, В. С., Статистическая физика: текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 1997. — 45с  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/19971703.pdf>
3. Кузнецов, В. С., Квантовая статистическая физика и основы физической кинетики: текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 2000. — 94 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20001717.pdf>

### **б) дополнительная литература**

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика : Учеб. пособ. : Для вузов. / Ландау Л. Д. , Лифшиц Е. М. - 5-изд. , стереот. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 616 с. - ISBN 978-5-9221-0054-0. -  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html>
2. Московский, С. Б. Курс статистической физики и термодинамики : учебник для вузов / Московский С. Б. - Москва : Академический Проект, 2020. - 320 с. ("Gaudeamus") - ISBN 978-5-8291-3047-3. -  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785829130473.html>

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н.

А.А. Гвоздев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Статистическая физика и термодинамика»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

**Задания для самостоятельной работы**

**Задания по теме № 1 «Математический аппарат термодинамики»:**

1. Используя метод якобианов, показать, что:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \frac{T}{C_p} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \quad \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\frac{T}{C_v} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_V = \frac{C_v}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P = \frac{C_p}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P, \\ \left(\frac{\partial u}{\partial V}\right)_T = -C_v \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S - P.$$

2. Для реального газа с уравнением состояния Ван-дер-Ваальса:

$$(P + a/V^2)(V - b) = RT, \text{ определить:}$$

-энтропию  $S$ ,

-внутреннюю энергию  $u$ ,

-коэффициент теплового расширения  $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ ,

-разность теплоёмкостей  $C_p - C_v$ ,

-уравнение адиабаты,

-работу газа при изотермическом расширении.

3. Используя метод термодинамических потенциалов, получить четыре соотношения Максвелла:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V, \quad \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P, \quad \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_T, \quad \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_T.$$

4. Используя неравенство Клаузиуса, показать, что для любого процесса энтропия изолированной системы не убывает.

**Задания по теме № 2 «Третье начало термодинамики. Условия  
термодинамического равновесия»:**

1. Рассчитать изменение энтропии при процессах:

-смешивание двух порций воды с разными температурами;

-опускание нагретого тела в холодную воду;

-смешивание двух порций идеального газа;

-смешивание двух порций разных идеальных газов.

2. Исследовать особенности системы, описываемой уравнением состояния Ван-дер-Ваальса, вблизи её критической температуры. Исследовать зависимость давления и скрытой теплоты перехода от жидкой к газообразной фазе от температуры в малой окрестности критической точки.

3. На примере простейшей реакции:  $\nu_1 A_1 + \nu_2 A_2 = \nu_3 A_3$ , проходящей при  $P = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$ , получить условие равновесия в этой реакции трёх реагирующих веществ. Считать, что все три вещества-разреженные газы.

4. Показать, что из III начала термодинамики (теоремы Нернста-Планка) следует недостижимость абсолютного нуля температуры.

### **Задания по теме № 3 «Термодинамические системы во внешних полях»:**

1. Намагниченность идеального парамагнетика определяется законом Кюри, а плотность его энергии:  $\varepsilon = aT^4$ , где  $a$ -константа.

Найти производную  $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_S$  и определить величину уменьшения температуры (охлаждения) при адиабатическом отключении магнитного поля.

2. Конденсатор ёмкости  $C$  заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon(T)$ . В первом случае конденсатор подключён к источнику тока, во втором случае заряжен до ЭДС источника и отключён от него. Найти разность теплоёмкостей  $C_Q - C_U$  для этих двух случаев.

### **Задания по теме № 4 «Применение классической статистической физики к равновесным процессам»:**

1. Вычислить фазовый объём и энтропию равновесной системы из  $N$  тождественных частиц одноатомного идеального газа.

2. Для системы из  $N$  тождественных частиц идеального газа вычислить:

- статсумму  $Z$ ,

- свободную энергию  $F$ ,

- энтропию  $S$  и давление  $P$ ,

- теплоёмкости  $C_p, C_v$  и их разность  $C_p - C_v$ ,

- внутреннюю энергию газа  $U$ .

3. Вычислить внутреннюю энергию газа и системы из  $N$  одномерных тождественных осцилляторов (частоты  $\omega$ ).

4. Вычислить намагниченность и магнитную восприимчивость системы  $N$  невзаимодействующих ротаторов (с магнитным моментом  $\mu$  вдоль оси ротатора и моментом инерции  $I$ ).

### **Задания по теме № 5 «Принципы квантовой статистической физики»:**

1. Вычислить статсумму  $Z$ , свободную энергию  $F$ , внутреннюю энергию  $U$  и энтропию  $S$  системы из  $N$  независимых квантовых осцилляторов частоты  $\omega$ .

2. Найти зависимость  $\mu(T)$  химического потенциала сильно вырожденного ферми-газа от температуры. Оценить химический потенциал лития ( $\mu(0) = 3,5$  эВ) при комнатной температуре.

3. Оценить температуру бозе-конденсации в жидком  $He_4$ . Считать плотность жидкого гелия  $\rho \approx 0,12$  г/см<sup>3</sup> постоянной.

4. Показать, что термическое и калорическое уравнения состояния сильно вырожденного нерелятивистского ферми-газа имеют вид:

$$P = Kn^{5/3}, \quad P = \frac{2}{3} \varepsilon.$$

### **Задания по теме № 6 «Теория флуктуаций. Броуновское движение»:**

1. Рассчитать флуктуацию плотности тока термоэлектронной эмиссии (дробовой эффект) при среднем значении тока  $\bar{j} = e\bar{n}$ .

2. Оценить  $(\Delta n)^2$  для электронного газа в металле при комнатной температуре.

3. Определить среднее расстояние, на которое продиффундирует газ из больших (по сравнению с молекулами жидкости) молекул, выпущенный из точечного источника в жидкость. Радиус молекулы газа  $r$ , температура жидкости  $T$ , коэффициент вязкости  $\eta$ .

### Контрольная работа №1 (примеры заданий)

1. Какое количество тепла  $Q$  получает идеальный газ в процессе политропического расширения от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$  если начальное давление газа было  $p_1$ , а показатель политропы равен  $n$ .
2. Покажите, что адиабата не может пересекаться с изотермой более чем в одной точке.
3. Для реального газа с уравнением состояния Ван-дер-Ваальса:  
 $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ , определить:  
-коэффициент теплового расширения  $\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ ,  
-разность теплоёмкостей  $C_p - C_v$ ,

### Контрольная работа №2 (примеры заданий)

1. Найти число молекул, имеющих заданное значение компонент скорости вдоль некоторой оси  $v_{\parallel}$  и в перпендикулярном направлении  $v_{\perp}$
2. Разреженный газ находится в сосуде объёмом  $V$  при давлении  $p$ . Предполагая, что молекулы газа имеют максвелловское распределение по скоростям, вычислить скорость истечения газа в вакуум из небольшого отверстия в сосуде площадью  $S$ .
3. Для идеального одноатомного газа, состоящего из  $N$  тождественных частиц вычислить термодинамические величины  $F$ ,  $p$ .

## 1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации

### Список вопросов к экзамену:

1. Термодинамические системы, параметры и равновесие. Постулаты термодинамики.
2. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и количество теплоты. Уравнения состояния.
3. Первое начало термодинамики. Теплоемкости.
4. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
5. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго начала термодинамики. Эквивалентность формулировок.
6. Энтропия и термодинамическая температура. Закон возрастания энтропии в изолированных системах.
7. Основное уравнение термодинамики для обратимых процессов. Связь термического и калорического уравнений состояния.
8. Энтропия идеального газа. Парадокс Гиббса.
9. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Основное неравенство термодинамики.
10. Цикл Карно и теорема Карно.
11. Третье начало термодинамики и его основные следствия.
12. Реальный газ. Внутренняя энергия, энтропия, коэффициент объемного расширения.
13. Метод термодинамических потенциалов. Внутренняя энергия, свободная энергия. Вычисление для идеального газа.
14. Метод термодинамических потенциалов. Потенциал Гиббса и энтальпия.
15. Соотношения Максвелла.
16. Системы с переменным числом частиц. Потенциал и большой потенциал Гиббса. Вычисление для идеального газа.
17. Условие устойчивости и равновесия однородной и двухфазной однокомпонентной системы.
18. Термодинамика диэлектриков и магнетиков.

19. Термодинамика чернотельного излучения.
20. Процесс Гей-Люссака и эффект Джоуля-Томпсона.
21. Системы с большим числом частиц. Вероятность микросостояния и функция распределения в классической статистике.
22. Каноническое распределение Гиббса для квазизамкнутой системы.
23. Микроканоническое распределение для изолированной системы.
24. Связь микроканонического и канонического распределений. Статистические энтропия и температура.
25. Вывод основного уравнения термодинамики для системы с каноническим распределением Гиббса.
26. Энтропия и свободная энергия идеального газа. Разрешение парадокса Гиббса.
27. Теорема Больцмана о равномерном распределении тепловой энергии по степеням свободы.
28. Системы с переменным числом частиц. Большой канонический ансамбль и большой термодинамический потенциал. Вычисление для идеального газа.
29. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Максимальная скорость, средняя скорость, средний квадрат скорости, средняя энергия, квадрат энергии, относительная флуктуация энергии молекулы. Радиус Дебая плазмы (квазиклассическое приближение).
30. Классическая статистика двухатомных молекул с дипольными электрическим (в электрическом поле) и магнитным (в магнитном поле) моментами.
31. Квантовые системы с фиксированным числом частиц. Вероятность микросостояния с собственным значением энергии. Термодинамика системы.
32. Квантовый ансамбль Гиббса с переменным числом частиц. Термодинамика системы.
33. Функции распределения (средние числа заполнения) для идеальных ферми- и бозе-газов.
34. Концентрация, плотность энергии, большой термодинамический потенциал идеальных ферми- и бозе-газов.
35. Ферми- и бозе-газы в квазиклассическом (больцмановском) пределе.
36. Вырожденный ферми-газ. Электронный газ в металле.
37. Вырожденный бозе-газ ниже температуры бозе-конденсации.
38. Фотоны. Формула Планка. Чернотельное излучение.
39. Фононы. Теория Дебая теплоемкости твердого тела.
40. Двухатомные молекулы.

### 1.3 Правила выставления оценки на экзамене.

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом статистической физики и термодинамики; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию статистической физики и термодинамики.

**Оценка «Хорошо»** выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью,

глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах статистической физики и термодинамики, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Статистическая физика и термодинамика»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Курс «Термодинамика и статистическая физика» посвящен изложению основ термодинамики и статистической физики посредством обобщения и развития идей классической теории поля и квантовой механики. Основной задачей данного курса является обучение студентов законами и подходами к изучению систем из большого числа частиц и полей.

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» являются лекции, причем в достаточно большом объеме. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с аппаратом термодинамики и статистической физики.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы термодинамики и статистической физики. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с аппаратом термодинамики и статистической физики, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде контрольных и самостоятельных работ (в аудитории и с использованием ЭОТ и ДО).

В конце всего курса студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Статистическая физика и термодинамика» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать экзамен по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.