

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФРТЭ В.А. Небольсин  
«21» декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

**«Статистическая физика»**

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2022

Автор программы  /Янченко Л.И./

И.о. заведующего кафедрой  
Физики твердого тела  /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП  /Стогней О.В./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины** - овладение студентами основными положениями статистической физики, которые составляют основу подготовки специалистов в области электронной техники и физики твердого тела. Знания, полученные в рамках данного курса, позволяют проводить оценочные расчеты электрофизических параметров твердых тел.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

ознакомить обучающихся с основными методами рассмотрения систем многих частиц;

сформировать у обучающихся представления о статистическом подходе к определению энтропии, температуры, давления; о количественной и качественной связи между различными термодинамическими функциями;

ознакомить с основными функциями распределения, научить применять их для описания реальных физических систем;

обеспечить приобретение студентами теоретических знаний и практического опыта при решении задач статистического характера;

освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных профессиональных задач;

овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;

умение ориентироваться в научно-технической информации;

формирование навыков по применению положений фундаментальной теории к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми бакалавру придется сталкиваться при создании или использовании новой техники и новых технологий;

умение использовать физические принципы и законы, а также результаты экспериментальных открытий в тех областях техники, в которых они будут трудиться

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Статистическая физика» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Статистическая физика» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	Знать - физические основы и математический аппарат статистической физики; - основные статистические методы для описания

	<p>макроскопических систем с большим числом частиц;  - три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения; элементы неравновесной термодинамики, классическая и квантовая статистики, кинетические явления, системы заряженных частиц, конденсированное состояние;  - квантовая статистика газов и твердых тел; статистика фотонов и спектр излучения абсолютно черного тела; статистическая физика неравновесных систем.</p>
	<p>Уметь - применять методы статистической физики в профессиональной деятельности ;  - использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах ;  - применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);</p>
	<p>Владеть - основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна, со статистическими свойствами света и квантовых низкоразмерных структур и кластеров ;  - применять современные методы статистической физики к решению актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Статистическая физика» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54

Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость академические часы	108	108
з.е.	3	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Основные результаты термодинамического метода	Методы рассмотрения систем многих частиц. Постулаты термодинамики Первый закон термодинамики Второй закон термодинамики Третий закон термодинамики. Термодинамические потенциалы Химический потенциал Фазы. Фазовые переходы	12	6	18	36
2	Статистический метод	Фазовое пространство Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема Микроканоническое распределение Каноническое распределение Большое каноническое распределение	12	6	18	36
3	Физические задачи, решаемые с использованием распределения Гиббса	Классический идеальный газ Квантовые идеальные газы Теплоемкость газов и твердых тел	12	6	18	36
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>

#### Лекции

### СЕМЕСТР 6

№ п/п	Тема лекции	Объем часов
1	Предмет статистической физики. Методы рассмотрения систем многих частиц. Равновесные состояния. Первый постулат термодинамики. Теплообмен и температура. Второй постулат термодинамики. Уравнения состояния. Третий постулат термодинамики.	2

2	Первое начало термодинамики. Полная и внутренняя энергия системы идеального газа. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Равновесные процессы	2
3	Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Цикл. Теорема Карно. Принцип существования энтропии. Принцип возрастания энтропии	2
4	Третье начало термодинамики. Следствия из третьего начала термодинамики. Характеристические функции. Представление основного уравнения термодинамики через характеристические функции. Характеристические переменные. Основные свойства характеристических функций. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Характеристические функции в роли термодинамических потенциалов	2
5	Термодинамика систем с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Условия термодинамического равновесия. Критерии устойчивости равновесия. Условия равновесия и устойчивости для однородной системы. Принцип Ле Шателье - Брауна	2
6	Фазы. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса	2
7	Статистический метод. Пространство состояний. Интегралы движения. Фазовое пространство. Свойства фазовой траектории. Фазовое пространство частицы одноатомного идеального газа, заключенного в сосуде заданного объема. Фазовое пространство одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд, объемом $V$ , содержащий заданное число одноатомных частиц. Микросостояния квантовых систем	2
8	Теорема Лиувилля. Следствия из теоремы Лиувилля. Статистическое распределение. Функция статистического распределения. Метод ансамблей Гиббса. Временное среднее. Статистический ансамбль. Усреднение по ансамблю. Эргодическая гипотеза	2
9	Принцип равной вероятности. Микроканоническое распределение Гиббса. Функция распределения по энергии. Микроканонический ансамбль. Статистическое определение энтропии. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии Метод Больцмана. Статистическое обоснование начал термодинамики	2
10	Каноническое распределение. Свойства канонического распределения. Вычисление термодинамических параметров с использованием канонического распределения	2
11	Способы вычисления статистической суммы. Классическое каноническое распределение. Большое каноническое распределение.	2
12	Максвелл - Больцмановский одноатомный газ (классический идеальный одноатомный газ). Основные термодинамические функции и уравнение состояния идеального газа. Распределение Максвелла-Больцмана	2

13	Квантовые идеальные газы. Распределения Ферми и Бозе. Вывод распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Распределение квантовых частиц по энергиям. Полная функция распределения. Распределение Больцмана. Критерий вырождения	2
14	Ферми-газ. Плотность состояний. Критерий вырождения Ферми-газа. Вырожденный газ фермионов	2
15	Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака. Бозе-газ. Конденсация Бозе - Эйнштейна. Электромагнитное излучение как фотонный газ	2
16	Бозе-газ фотонов. Плотность состояний бозе-газа. Формула Планка. Закон Кирхгофа для излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина (закон смещения Вина)	2
17	Теплоемкость газов и твердых тел. Классическая теория. Затруднения классической теории теплоемкости. Теплоемкость кристаллов по Дебаю. Плотность состояний фононов. Дебаевская частота	2
18	Решеточная теплоемкость. Электронный вклад в теплоемкость металлов	2
Итого часов		36

## Практические занятия

### СЕМЕСТР 6

№ п/п	Тема практического занятия	Объем часов	Форма контроля
1	Законы и уравнения состояния идеальных газов.	2	Решение задач
2	Первый и второй законы термодинамики	2	Решение задач
3	Характеристические функции	2	Решение задач
4	Фазовые равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса	2	Решение задач
5	Модельная система элементарных магнитов (спинов). Оценка остроты максимума допустимых состояний, аддитивность энтропии	2	Решение задач

6	Канонический ансамбль. Распределения Гиббса	2	Решение задач
7	Распределения Максвелла и Больцмана	2	Решение задач
8	Распределения Ферми-Дирака	2	Решение задач
9	Распределения Бозе - Эйнштейна	2	Зачет
Итого часов		18	

### Самостоятельная работа студента (СРС)

#### СЕМЕСТР 6

Неделя семестра	Вид СРС	Форма контроля	Объем часов
1	Применение первого закона термодинамики к изопроцессам в идеальном газе.	Опрос	4
2	Теплоемкость твердых тел	Решение задач Доклад на семинаре	4
3	Макроскопические величины как фазовые средние	Реферат	4
4	Уравнения движения в форме Ньютона, Лагранжа, Гамильтона	Семинар. Решение задач	4
5	Фазовое пространство частицы одноатомного идеального газа, заключенного в сосуде заданного объема.	Опрос	4
6	Фазовое пространство одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд, объемом $V$ , содержащий заданное число одноатомных частиц	Решение задач	2
7	Изучение теоретического материала. Применение распределения Гиббса к реальным	Опрос	4

	системам		
8	Подготовка к коллоквиуму	Решение задач	2
9	Связь термодинамических функций со статистическим интегралом. Вывод основных термодинамических уравнений с помощью канонического распределения Гиббса	Коллоквиум Опрос	2
10	Сопоставление квантовых статистик	Опрос	2
11	Излучение абсолютно черного тела. Спектральная плотность объемной плотности равновесного теплового излучения	Решение задач	2
12-14	Функция распределения Планка. Закон Стефана - Больцмана	Решение задач	4
15	Определение флуктуации	Опрос Доклад на семинаре	2
16-17	Изучение теоретического материала Элементы теории флуктуаций.	Опрос Решение задач	8
18	Подготовка к зачету	Зачет	6
Итого часов:			54

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

## 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	Знать физические основы и математический аппарат статистической физики; - основные статистические методы для описания макроскопических систем с большим числом частиц; - три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения; элементы неравновесной термодинамики, классическая и квантовая статистики, кинетические явления, системы заряженных частиц, конденсированное состояние; - квантовая статистика газов и твердых тел; статистика фотонов и спектр излучения абсолютно черного тела; статистическая физика неравновесных систем)	Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы статистической физики в профессиональной деятельности ; - использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах ; - применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);	Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна, со статистическими свойствами света и квантовых низкоразмерных структур и кластеров ; - применять современные методы статистической физики к решению	Тесты, решение задач, ответы на практических занятиях, выполнение самостоятельных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики			
--	---	--	--	--

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	<p>знать физические основы и математический аппарат статистической физики;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные статистические методы для описания макроскопических систем с большим числом частиц;</li> <li>- три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, фазовые равновесия и фазовые превращения; элементы неравновесной термодинамики, классическая и квантовая статистики, кинетические явления, системы заряженных частиц, конденсированное состояние;</li> <li>- квантовая статистика газов и твердых тел; статистика фотонов и спектр излучения абсолютно черного тела; статистическая физика неравновесных систем)</li> </ul>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<p>уметь применять методы статистической физики в профессиональной деятельности ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать указанные методы для описания термодинамических и электромагнитных явлений в средах, как в классическом, так и квантово-механическом пределах ;</li> <li>- применять математический аппарат статистической физики в теоретических исследованиях; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах (полупроводниках, металлах, диэлектриках);</li> </ul>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть основными математическими методами статистической физики; методами вычислений, связанных с исследованием конденсата Бозе-Эйнштейна, со статистическими свойствами света и квантовых низкоразмерных структур и кластеров ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять современные методы статистической физики к решению актуальных научных проблем; проводить качественные теоретические оценки явлений в микромире с позиций статистической физики</li> </ul>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

- 1 Статистические закономерности проявляются в
  - а) микроскопических системах
  - б) макроскопических системах
  - в) системах с дальним порядком
- 2 Для описания коллектива частиц как целого используют
  - а) механический подход
  - б) термодинамический метод
  - в) статистический метод
- 3 Если отсутствует обмен веществом и энергией с окружающими телами, то система называется
  - а) изолированной
  - б) закрытой
  - в) открытой
- 4 Переход системы в состояние равновесия называют
  - а) теплообмен
  - б) излучение
  - в) релаксация
- 5 Передача энергии, происходящая при контакте двух систем, и осуществляющаяся без изменения внешних параметров называется
  - а) работа
  - б) теплообмен
  - в) теплота
- 6 Величины, определяемые совокупным движением и распределением в пространстве входящих в систему частиц, называют
  - а) внутренние параметры
  - б) внешние параметры
  - в) независимые параметры
- 7 Энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь передается от одного тела к другому или переходит из одного вида в другой в эквивалентных количествах. Это формулировка
  - а) третьего начала термодинамики
  - б) закона возрастания энтропии
  - в) закона сохранения энергии
- 8 Возможность внутренней энергии одних тел переходить только во внутреннюю энергию других тел, называют
  - а) работа
  - б) теплообмен
  - в) теплота
- 9 Изменение внутренней энергии равно полученной теплоте за вычетом совершенной при этом системой работы. Это формулировка
  - а) I начала термодинамики
  - б) II начала термодинамики
  - в) III начала термодинамики
- 10 Являются функциями состояния и имеют полный дифференциал следующие величины
  - а) теплота
  - б) работа
  - в) внутренняя энергия

1. Найти для кислорода отношение удельной теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме.
2. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , если он расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 2V_1$ ?
3. Чему равна энергия теплового движения 20 г кислорода при температуре  $10^{\circ}\text{C}$ ? Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного?
4. Найти изменение энтропии при изобарическом расширении 8 г гелия от объема 10 л до объема 25 л.
5. Объяснить, при каких условиях к электронам в металле применима: 1) классическая статистика; 2) квантовая статистика.
6. Объяснить, при каких условиях можно принять статистику Максвелла-Больцмана к электронам в металле. Пользуясь распределением Ферми-Дирака, получить распределение Максвелла-Больцмана.
7. Определить функцию распределения для электронов, находящихся на энергетическом уровне  $E$  для случая  $E - E_F \ll kT$ , пользуясь: 1) статистикой Ферми-Дирака; 2) статистикой Максвелла-Больцмана. [1)  $1/2$ ; 2) 1].
8. Определить функцию распределения Ферми-Дирака при  $T \neq 0$  для электронов, находящихся на уровне Ферми. Объяснить полученный результат. [ $\langle N(E) \rangle = 1/2$ ].
9. Какая статистика описывает фононный газ? Почему?
10. Объяснить целесообразность введения фононов, а также перечислить их свойства.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- 11 Если все параметры системы изменяются физически бесконечно медленно, так что система все время находится в равновесных состояниях, то такой процесс называют
- а) не равновесный
  - б) равновесный
  - в) круговой

- 12 Функция состояния, которая не изменяется только в равновесных процессах и всегда возрастает в не равновесных, это
- энтропия
  - внутренняя энергия
  - энтальпия
- 13 Если последовательное совершение процесса в прямом, а затем в обратном направлениях не оставит никаких следов в окружающих телах, то его называют
- прямой
  - обратный
  - обратимый
- 14 Вследствие рассеяния энергии все реальные процессы относят к
- обратимым
  - не обратимым
  - равновесным
- 15 Действующая тепловая машина должна содержать
- три компонента (нагреватель, рабочее тело и холодильник)
  - два компонента (нагреватель и рабочее тело)
  - четыре компонента (нагреватель, рабочее тело, холодильник, двигатель)
- 16 Выберите правильное утверждение, описывающее знак неравенства в теореме Карно
- равно – обратимая машина
  - меньше – не обратимая машина
  - больше – не обратимая машина
- 17 Изменение энтропии больше или равно приведенной теплоте. Это формулировка
- I начала термодинамики
  - III начала термодинамики
  - II начала термодинамики
- 18 Смысл теоремы Нернста можно интерпретировать как
- закон сохранения энергии
  - недостижимость абсолютного нуля температуры
  - неограниченное возрастание энтропии
- 19 Температура и объем являются естественными переменными для
- энергии Гельмгольца
  - энергии Гиббса
  - энтальпии
- 20 Изменение какой функции состояния в изотермическом процессе, равно работе расширенной системы в адиабатическом процессе
- энтропия
  - внутренняя энергия
  - энергия Гиббса

**1. Объяснить причину электрического сопротивления металлов с точки зрения квантовой теории электропроводимости металлов.**

**2. Объяснить на основе квантовой теории отсутствие заметного отличия в теплоемкостях металлов и диэлектриков.**

**3. Объяснить физический смысл энергии Ферми.**

**4. Вычислить энергию Ферми для алюминия при  $T = 0$  К.**

5. Найти разницу энергий в единицах  $kT$  между электроном на уровне Ферми и электроном, находящемся на уровне, вероятность заполнения которого 0,2.

6. Металл находится при температуре  $T = 0$  К. Определить, во сколько раз число электронов с кинетической энергией от  $E_f/2$  до  $E_f$  больше числа электронов от 0 до  $E_f/2$ .

7. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности сместился с 2,4 мкм на 0,8 мкм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

8. Температура абсолютно черного тела равна 2 К. Определить спектральную плотность энергетической светимости для длины волны 600 нм.

9. Температура абсолютно черного тела равна 2 К. Определить энергетическую светимость в интервале длин волн от 590 нм до 610 нм

10. Абсолютно черное тело находится при температуре 2900 К. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на 9 мкм. До какой температуры охладилось тело?

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

21 Какую функцию состояния называют теплосодержание

- а) энтропия
- б) энтальпия
- в) внутренняя энергия

22 Какая величина учитывает термодинамические особенности системы с переменным числом частиц

- а) химический потенциал
- б) энтропия
- в) внутренняя энергия

23 Аддитивные параметры иначе называют

- а) экстенсивные
- б) интенсивные
- в) постоянные системы

24 Энергия Гельмгольца системы, находящейся в равновесии достигает своего

- а) максимума
- б) минимума
- в) нулевого значения

25 Отклик устойчивых систем на внешние воздействия всегда направлен против причин, вызывающих первоначальное изменение состояния. Это утверждение представляет собой

- а) теорема Клаузиуса
- б) теорема Нернста

- в) принцип Ле Шаталье Брауна
- 26 Термодинамическое равновесие в системе, состоящей из двух подсистем достигается за счет следующих процессов
- теплообмен
  - диффузия
  - ионизация
  - внутреннее давление (механическое равновесие)
  - эмиссия
- 27 Уравнение Клапейрона-Клаузиуса это
- уравнение состояния
  - зависимость химического потенциала от температуры и давления
  - функция в координатах давление-температура
- 28 Поглощение (или выделение) теплоты происходит в
- фазовом переходе I рода
  - фазовом переходе II рода
  - в фазовых переходах I, II рода
- 29 Скачкообразное изменение теплоемкости характеризует
- фазовый переход I рода
  - фазовый переход II рода
  - фазовые переходы I, II рода
- 30 Скачкообразное изменение первой производной химического потенциала указывает на
- фазовые переходы I, II рода
  - фазовый переход II рода
  - фазовый переход I рода

1. Пылинки массой  $10^{-18}$  г взвешены в воздухе. Определить толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1%. Температура воздуха во всем объеме одинакова и равна 300 К.

2. В атмосфере находятся частицы пыли, имеющие массу  $8 \cdot 10^{-22}$  кг и объем  $5 \cdot 10^{-23}$  м<sup>3</sup>. Найти уменьшение их концентрации на высотах 3 м и 30 м. Воздух находится при нормальных условиях.

3. Барометр в кабине самолета все время показывает одинаковое давление 79 кПа. Но температура за бортом самолета изменилась с 5 °С до 1 °С. На сколько изменилась высота полета? Давление у поверхности земли считать нормальным.

4. Кусок металла объема 20 см<sup>3</sup> находится при температуре 0 К. Определить число свободных электронов, импульсы которых отличаются от максимального импульса не более, чем на 0,1  $p_{\max}$ . Энергия Ферми 5 эВ.

5. Определить концентрацию свободных электронов в металле при 0 К.

Энергию Ферми принять равной 1 эВ.

6. Вычислить среднюю кинетическую энергию электронов в металле при 0 К, если уровень Ферми 7 эВ.

7. Найти долю свободных электронов в металле при 0 К, кинетическая энергия которых больше половины максимальной.

8. Объяснить, при каких условиях к электронам в металле применима:  
1) классическая статистика; 2) квантовая статистика.

9. Определить отношение концентраций свободных электронов при  $T = 0$  К в литии и цезии, если известно, что уровни Ферми в этих металлах равны 4,72 эВ, 1,53 эВ.

10. Определить число свободных электронов, занимающих в среднем уровень энергии, равной энергии Ферми.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Методы рассмотрения систем многих частиц. Динамический метод изучения систем многих частиц.

2. Методы рассмотрения систем многих частиц. Термодинамический метод изучения систем многих частиц.

3. Методы рассмотрения систем многих частиц. Статистический метод.

4. Полная и внутренняя энергия систем многих частиц.

5. Первое начало термодинамики. Основное уравнение термодинамики для равно-весных процессов.

6. Второе начало термодинамики.

7. Принцип существования энтропии.

8. Принцип возрастания энтропии.

9. Третье начало термодинамики. Следствия из третьего начала термодинамики.

10. Представление основного уравнения термодинамики через характеристические функции.

11. Характеристические переменные. Основные свойства характеристических функций. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.

12. Характеристические функции в роли термодинамических потенциалов.

13. Условие термодинамического равновесия. Устойчивость равновесия.

14. Дифференциальные уравнения термодинамики в независимых переменных  $T$  и  $V$  и их интегрирование.

15. Классическое описание состояния механической системы. Уравнения движения в форме Ньютона.

16. Уравнения движения в форме Лагранжа.

17. Уравнения движения в форме Гамильтона.

18. Интегралы движения.

19. Фазовое пространство.

20. Фазовое пространство частицы одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд объемом  $V$ .

21. Фазовое пространство одноатомного идеального газа, заключенного в сосуд объемом  $V$  и содержащего  $N$  одноатомных частиц.

22. Квазиклассическое выражение для числа микросостояний системы в выделенном объеме фазового пространства  $\Delta\Gamma$ .
23. Метод ансамблей Гиббса.
24. Теорема Лиувилля. Принцип равной вероятности.
25. Микроканоническое распределение Гиббса.
26. Статистическое определение энтропии.
27. Статистическое определение температуры. Перенос тепла от горячего тела к холодному.
28. Статистическое определение химического потенциала. Самопроизвольный массообмен между подсистемами.
29. Каноническое распределение Гиббса.
30. Большое каноническое распределение Гиббса.
31. Максвелл-Больцмановский идеальный газ.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 тестовых вопросов, 1 стандартную задачу и 10 прикладных задач.

Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. За выполнение теста на 70-100% (один правильный ответ- 10%) студент получает 7-10 баллов.

Выполнение 1 стандартной задачи оценивается по 10 балльной системе.

За правильное решение одной прикладной задачи студент получает 1 балл, за десять – 10 баллов.

Максимальное количество набранных баллов – 30.

Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент продемонстрировал продемонстрировано знание основных понятий, идей и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но может быть не до конца выражено в авторском анализе. Количество набранных баллов – свыше 21. Выполнение каждого задания должен быть оценено, не менее чем на 7 баллов.

Оценка «не зачтено» ставится в случае, если студент продемонстрировал низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов. Количество набранных баллов – менее 21, или выполнение одного из заданий было оценено, менее чем на 7 баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные результаты термодинамического метода	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита реферата, ....

2	Статистический метод	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита реферата, ....
3	Физические задачи, решаемые с использованием распределения Гиббса	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита реферата, ....

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1.Ландау Л.Д., Лифшиц Е.В. Под ред. Л.П. Питаевского Теоретическая физика: В 10 т.: том 5, ч.1: Статистическая физика. Учеб. Пособие, М.: Физматлит, 2002 г., 616 с. Печатн.

2 Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред М: Наука, 1982, 621 с.

3 Ландау Л.Д. Физическая кинетика М: Наука, 1979, 528 с.

4. Л.И. Янченко Методические указания к практическим занятиям по курсу «Статистическая физика» для студентов направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / ГОУВПО. «Воронежский государственный технический университет» Воронеж, ВГТУ, 2009. 33 с. Печ

5. И.М. Шушлебин, Л.И.Янченко Учебное пособие «Избранные главы теоретической физики: статистическая физика» для лекционных и практических занятий по дисциплине «Теоретическая физика» и «Статистическая физика» ФГБОУ ВО «ВГТУ» Воронеж 2019. 89 с Эл.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Автоматизированный измерительный комплекс сбора и предварительной обработки экспериментальных данных

Графическая обработка экспериментальных данных Origin 8.0

**9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Учебно-научная лаборатория “Нанотехнологии и наноматериалы”.
3. Учебно-научная лаборатория “Технология материалов электронной техники”.
4. Учебно-научная лаборатория “Физических методов исследования”.  
Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами .

**10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Статистическая физика» читаются лекции, проводятся практические занятия .

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета статистических закономерностей систем большого числа классических и квантовых частиц. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой практических и самостоятельных работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо

	сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.