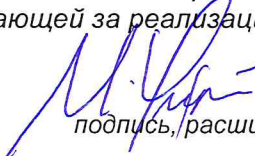


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
теоретической физики
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)
подпись, расшифровка подписи

02.07.2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.Б.07.04 – Термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 – физика

2. Профиль подготовки/специализация: "Ядерная и медицинская физика", "Физика лазерных и спектральных технологий", "Физика твердого тела"

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 - теоретической физики

6. Составители программы: Мармо Сергей Иванович

ФИО

д.ф.-м.н.

доцент

ученая степень

ученое звание

marmo@phys.vsu.ru

физический

e-mail

факультет

теоретической физики

Кафедра

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 27.06.2018 г. протокол № 6
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2021-2022

Семестр(-ы): 7,8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Изучение курса «Термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика» ставит своей целью сформировать у студентов знания об основных идеях и математических методах равновесной и неравновесной термодинамики и статистической физики, а также выработать навык использования этих методов для решения конкретных задач. Задачи курса - познакомить студентов с основными моделями макроскопических систем, используемых в рамках термодинамики и статистической физики, и продемонстрировать действие физических законов, а также эффективность методов термодинамического и статистического описания равновесных и неравновесных процессов в макроскопических системах на примере данных моделей.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Входит в модуль «Теоретическая физика» базовой части Б1. Перед изучением дисциплины студент должен обладать знаниями по дисциплинам модулей «Общая физика», «Математика», а также по дисциплинам «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая теория» из модуля «Теоретическая физика».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук	<p>знать: основные положения и методы термодинамики и статистической физики</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах макросистем и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p> <p>владеть (иметь навык(и)): практическими методами исследования макроскопических систем и применять их на практике при решении профессиональных задач</p>
ОПК-3	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 6 / 216.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – экзамен.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		7	8	...
Аудиторные занятия	116	68	48	
в том числе: лекции	58	34	24	
практические	58	34	24	
лабораторные				
Самостоятельная работа	64	40	24	
Контроль	36		36	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – 36 час.)	экзамен		экзамен	
Итого:	216	108	108	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение. Соотношение между термодинамикой и статистической физикой.	Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем. Микроскопическое и макроскопическое описание физических систем. Два способа описания макросистем.
1.2	Основные понятия и законы термодинамики.	Постулаты термодинамики. Термодинамические системы.
1.3	Методы и приложения термодинамики.	Метод круговых процессов, метод термодинамических потенциалов. Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Термодинамические неравенства.
1.4	Основные представления статистической физики.	Механическое и статистическое описание макросистем. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Эргодическая проблема. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Свойства параметров канонического распределения. Вероятностный смысл второго начала термодинамики. Связь энтропии с вероятностью. Функция распределения для энергии. Идеальный изотермический газ. Парадокс Гиббса.
1.5	Классическая статистическая физика равновесных систем.	Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Классическая теория теплоемкости твердого тела. Одночастичные распределения. Распределение Максвелла-Больцмана для идеального газа. Реальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Плазма. Самосогласованное поле и корреляционная энергия плазмы. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Равновесие трех фаз. Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Магнитное охлаждение. Магнитокалорический эффект. Электрострикция, магнитоэлектричество, пьезоэффект
1.6	Квантовая статистическая физика	Смешанные состояния квантовых систем и статистический оператор. Квантовое каноническое и большое каноническое распределения. Квантовая теория теплоемкости твердых

		тел. Квантовые распределения для идеальных газов. Распределения Бозе–Эйнштейна и Ферми–Дирака. Условие вырождения идеальных газов. Уравнение состояния квантовых газов. Слабое вырождение бозе- и ферми-газов. Сильновырожденный бозе-газ. Бозе–Эйнштейновская конденсация. Применение статистики Бозе–Эйнштейна к тепловому равновесному излучению. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость металлов. Постулат Нернста как следствие квантовой статистики.
1.7	Теория флуктуаций	Флуктуации. Примеры вычисления флуктуаций. Рассеяние света на флуктуациях плотности. Распределение вероятности флуктуаций. Квазитермодинамическая теория равновесных флуктуаций. Корреляция флуктуаций во времени. Спектральное разложение флуктуаций. Формула Найквиста.
1.8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов	Основы теории неравновесных процессов. Исходные положения неравновесной термодинамики. Термодинамика линейных необратимых процессов. Основы неравновесной нелинейной термодинамики. Элементы физической кинетики. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера–Планка. Теория броуновского движения.
2. Практические занятия 3. Лабораторные работы		
3.1	Основные понятия и законы термодинамики.	Основное термодинамическое тождество
3.2	Методы и приложения термодинамики.	Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов
3.3	Основные представления статистической физики	Элементы теории вероятностей. Фазовое пространство. Фазовые траектории. Теорема Лиувилля
3.4	Классическая статистическая физика равновесных систем.	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Каноническое распределение Гиббса по энергиям. Распределения Максвелла и Больцмана.
3.5	Квантовая статистика	Квантовое каноническое распределение. Квантовый осциллятор. Распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.
3.6	Флуктуации.	Примеры вычисления флуктуаций физических величин.
3.7	Элементы физической кинетики	Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Введение. Соотношение между термодинамикой и статистической физикой.	2			2	4
2	Основные понятия и законы термодинамики.	4		2	6	12
3	Методы и приложения термодинамики.	6		8	8	22
4	Основные представления статистической физики.	4		4	4	12
5	Классическая статистическая физика равновесных систем.	16		16	19	51

6	Квантовая статистическая физика	16		18	15	49
7	Теория флуктуаций	4		4	4	12
8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов	6		6	6	18
	Итого:	58		58	64	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к лабораторному занятию, разбирая соответствующий теоретический материал, систематически выполнять домашние задания, не пропускать текущие тестирования по пройденному теоретическому и практическому материалу.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернета, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2007. — 448 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=692
2	Базаров И.П. Термодинамика / И.П. Базаров. — СПб. : Лань, 2010. — 375 с.
3	Кикоин А.К. Молекулярная физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2008. — 480 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=185
4	Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика. [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2018. — 436 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. — URL : https://e.lanbook.com/book/104956
5	Телеснин В.Р. Молекулярная физика [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2009. — 368 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=391

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Леонтович, М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2008. — 420 с. — <URL: http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=226 >
7	Миронова Г.А. Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Миронова, Н.Н. Брандт, А.М. Салецкий. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2012. — 475 с. — <URL: http://lanbook.lib.vsu.ru/books/element.php?pl1_id=3718 >
8	Ландау Л.Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Наука, 2001. — 613 с.
9	Румер Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. — Новосибирск: Изд-во Новосибирск. ун-та, 2000. — 608 с.
10	Терлецкий Я.П. Статистическая физика / Я.П. Терлецкий. — М.: Высш. шк., 1994. — 350 с.

11	<i>Сборник задач по теоретической физике / Л.Г. Гречко, В.И. Сузаков, О.Ф. Томасевич и др. – М.:Высш. шк., 1972. – 336 с.</i>
12	<i>Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем. Термодинамика / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.</i>
13	<i>Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2: Теория равновесных систем. Статистическая физика / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.</i>
14	<i>Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3: Теория неравновесных систем / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с.</i>
15	<i>Кубо Р. Статистическая механика / Р. Кубо. – М.: Мир, 1967. – 452 с.</i>
16	<i>Серова Ф.Г. Сборник задач по теоретической физике / Серова Ф.Г., А.А. Янкина. – М.: Наука, 1979. — 192 с.</i>
17	<i>Копытин И.В., Алмалиев А.Н., Чуракова Т.А. Термодинамика и статистическая физика. Основные положения, примеры и задачи. Часть I. – Воронеж, 2003. – 60 с.</i>
18	<i>Алмалиев А.Н., Копытин И.В., Корнев А.С., Чуракова Т.А. Термодинамика и статистическая физика. Часть II. – Воронеж, 2001. – 79 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
19	<URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-205.pdf >.
20	<URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m10-227.pdf >.

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	<i>Манаков Н.Л. Лекции по термодинамике и статистической физике. Часть 1. / Н.Л. Манаков, С.И. Мармо // Воронеж - 2003. – 83 с.</i>
2	<i>Манаков Н.Л. Лекции по термодинамике и статистической физике. Часть 2. / Н.Л. Манаков, С.И. Мармо // Воронеж - 2003. – 79 с.</i>
3	<i>Манаков Н.Л. Лекции по термодинамике и статистической физике. Часть 2. / Н.Л. Манаков, С.И. Мармо // Воронеж - 2004. – 39 с.</i>
4	<i>Термодинамика и классическая статистическая физика : учебное пособие для вузов / А.Н. Алмалиев, И.В. Копытин, С.И. Мармо, Т.А. Чуракова .— Воронеж : Издательский дом ВГУ. – 2015 .— 71 с.</i>
5	<i>Квантовая и неравновесная статистика / А.Н. Алмалиев, И.В. Копытин, С.И. Мармо, Т.А. Чуракова .— Воронеж : ИПЦ ВГУ. – 2010 .— 47 с.</i>

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, дисплейный класс, электронные средства презентации

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1 способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук	Знать: основные положения и методы термодинамики и статистической физики.	Разделы 1.1-1.2,1.4	Текущая аттестация №1 (собеседование)
	Уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах термодинамических систем и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач	Разделы 1.3, 1.5-, 1.8	Текущая аттестация №2 (собеседование)
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Владеть: практическими методами исследования макроскопических систем и применять их на практике при решении профессиональных задач	Разделы 3.1-3.7	Практическое задание
Промежуточная аттестация			КИМ

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Необходимо знать основные положения термодинамики и статистической физики, уметь записать с учетом физических свойств макросистемы статистическое распределение для нее, владеть статистическими методами расчета макропараметров, знать условия применимости классической и квантовой статистики, знать примеры проявления флуктуаций в макроскопических системах и уметь рассчитывать их характеристики, иметь представление о кинетическом подходе к исследованию неравновесных процессов. .

Критерии оценок:

Отлично – подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы.

Хорошо – подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками.

Удовлетворительно – неудовлетворительные ответы на один из основных и некоторые дополнительные вопросы.

Неудовлетворительно – плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на большинство поставленных вопросов.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Метод термодинамических потенциалов.
2. Микроканоническое распределение в классической статфизике.
3. Каноническое распределение Гиббса.
4. Функция распределения для энергии.
5. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале.
6. Классическая теория теплоемкости твердых тел.
7. Одночастичные классические распределения (распределение Максвелла по проекциям и абсолютным значениям скорости, распределение Больцмана).
8. Корреляционная энергия и термодинамика плазмы.
9. Термодинамика систем с переменным числом частиц.
10. Статистическое описание систем с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение.
11. Квантовое каноническое распределение.
12. Переход к непрерывному спектру энергий при статистическом описании квантовых систем. Энергетическая плотность состояний
13. Квантовый осциллятор. Эйнштейновская теория теплоемкости твердого тела.
14. Квантовая теория теплоемкости Дебая.
15. Квантовые распределения для идеальных газов. Распределение Бозе--Эйнштейна.
16. Квантовые распределения для идеальных газов. Распределение Ферми--Дирака.
17. Температура вырождения и переход к классической статистике.
18. Уравнение состояния квантовых газов.
19. Сильно вырожденный бозе-газ. Бозе--эйнштейновская конденсация.
20. Применение статистики Бозе--Эйнштейна к тепловому равновесному излучению. Формула Планка.
21. Закон Стефана--Больцмана. Термодинамика равновесного излучения.

22. Электронный газ в металле при нулевой температуре.
23. Электронный газ при низкой температуре. Электронная теплоемкость металлов
24. Флуктуации. Примеры вычисления флуктуаций.
25. Распределение вероятности флуктуирующих величин.
26. Флуктуации основных термодинамических величин
27. (квазитермодинамическая теория флуктуаций).
28. Корреляции флуктуаций во времени. Спектральное разложение флуктуаций
29. Тепловые шумы в электрических цепях . Формула Найквиста.
30. Кинетическое уравнение Больцмана.
31. Кинетическое уравнение в релаксационном приближении.
32. Применение кинетического уравнения к описанию электропроводности электронного газа.

19.3.2 Перечень практических заданий

1. Зная явный вид свободной энергии для одного моля газа в своих переменных, записать уравнение состояния и выражение для внутренней энергии газа.
 $F(V,T) = C_V T(1 - \ln T) - RT \ln(V-b) - (2a)/(3 V^{3/2})$. (C_V считать постоянной).
2. Найти фазовый объем, ограниченный гиперповерхностью энергии $H(q, p) = E$, и плотность состояний (статистический вес) для адиабатически изолированного идеального газа из N молекул с энергией E в объеме V .
3. Идеальный газ, состоящий из N сферических осцилляторов с потенциалом $U(r) = m\omega^2 r^2/2$, находится при температуре T в объеме V . Найти интеграл состояния Z и внутреннюю энергию.
4. Идеальный газ, состоящий из N свободных одноатомных молекул, находится при температуре T в объеме V . Найти интеграл состояния Z и внутреннюю энергию.
5. Идеальный газ, состоящий из молекул с массой m , находится внутри бесконечного цилиндра.
 Цилиндр помещен в однородное поле тяготения. Записать нормированное распределение Больцмана для молекул указанного газа. Найти среднее и наиболее вероятное положение молекулы в сосуде.
6. Для случая низких температур вычислить статистическую сумму, внутреннюю энергию и теплоемкость для частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a . Энергетический спектр частицы $E_n = (\pi^2 \hbar^2 n^2)/(2ma^2)$, $n=1,2,3,\dots$, где m -- масса частицы.
7. Найти граничную энергию и среднюю энергию в идеальном электронном газе, находящемся в объеме V , при $T=0$.
8. Найти число частиц, находящихся в бозе-конденсате для бозе-газа, температура которого меньше температуры бозе-конденсации.
9. Рассчитать стационарную функцию распределения f для электронов проводимости во внешнем однородном электрическом поле E . Концентрацию электронов считать постоянной, а равновесное распределение f_0 --- максвелловским.

19.3.4 Тестовые задания

1. Первое и второе начала термодинамики для равновесных процессов (в дифференциальной форме, для случаев постоянного и переменного числа частиц в системе) и основное термодинамическое тождество..

2. Основное термодинамическое тождество в записи через внутреннюю энергию E , свободную энергию F , энергию Гиббса Φ . Внутренняя энергия E , свободная энергия F , энергия Гиббса Φ как термодинамические потенциалы.
3. Каноническое распределение Гиббса (классическое) и его применение к идеальному газу (расчет энтропии, энергии и уравнения состояния).
4. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Средняя энергия, приходящаяся на колебательную степень свободы. Средняя энергия классического осциллятора.
5. Одночастичные распределения (распределение Максвелла по проекциям и абсолютным значениям скорости, распределение Больцмана). Средняя и средняя квадратичная скорость.
6. Условие фазового равновесия. Уравнение Клапейрона --- Клаузиуса. Идея прямого вариационного метода.
7. Квантовое каноническое распределение (вероятность нахождения в системы в стационарном состоянии и в состоянии с данной энергией, смысл параметров квантового канонического распределения, расчет термодинамических характеристик системы).
8. Средняя энергия квантового осциллятора (общие формулы, по которым она рассчитывается, и окончательный результат) и ее предельные выражения при высокой и низкой температурах.
9. Теплоемкость твердого тела: закон Дюлонга --- Пти, теплоемкость при низкой ($T \ll T_0$) и высокой ($T \gg T_0$) температуре по теории Дебая (T_0 --- температура Дебая) (с рисунком).
10. Распределения Бозе --- Эйнштейна и Ферми --- Дирака (средние значения чисел заполнения в системах бозонов и фермионов, расчет средней энергии, условие нормировки).
11. Температура вырождения и переход к классической статистике (условие перехода квантовых распределений в классическое, его интерпретация, оценка температуры вырождения для воздуха и электронного газа в металле).
12. Спектральная плотность теплового равновесного излучения. Закон Стефана --- Больцмана.
13. Электронный газ в металле при нулевой температуре (энергия Ферми, средняя энергия, распределение Ферми --- Дирака при нулевой температуре).
14. Флуктуации. Дисперсия, среднеквадратичное отклонение и относительная флуктуация. Зависимость относительной флуктуации аддитивной величины от числа частиц системы. Распределение вероятности флуктуации.
15. Кинетическое уравнение Больцмана (со столкновительным и релаксационным членами).

19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

Контрольная работа № 1

Тема Методы и приложения термодинамики

Вариант 1

1. Идеальный газ совершает цикл, состоящий из изохоры, изотермы и изобары. Найти КПД цикла.
2. Считая известным уравнение Ван-дер-Ваальса, $(p+a/V^2)(V-b)=RT$, (a и b -- постоянные), определить: а) энтропию, б) энергию.
3. Пользуясь соотношениями Максвелла, показать, что $(\partial C_V / \partial V)_T = T(\partial^2 p / \partial T^2)_V$.

Вариант 2

1. Получить уравнение адиабаты для идеального одноатомного газа и определить работу при переходе газа из состояния p_1, V_1 в p_2, V_2 .
2. Считая известным уравнение Ван-дер-Ваальса, $(p+a/V^2)(V-b)=RT$,

(a и b – постоянные), определить: а) коэффициент теплового расширения, б) уравнение адиабаты.

3. Доказать, что в равновесном состоянии для любой обобщенной силы $A=A(a,T)$, соответствующей сопряженному внешнему параметру a , имеет место соотношение: $(\partial T/\partial A)_a (\partial A/\partial a)_T (\partial a/\partial T)_A = -1$.

Контрольная работа № 2

Тема Классическая статфизика равновесных систем

Вариант 1

1. Найти энтропию и температуру для изолированной системы N невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов с частотой ω .
2. Найти свободную энергию и внутреннюю энергию и теплоемкость столба идеального газа высотой h и площадью S , находящегося в поле силы тяжести.
3. Идеальный одноатомный газ, состоящий из N частиц, находится в термостате с температурой T . Найти вероятность того, что газ имеет полную энергию, значение которой находится в интервале от E до $E+dE$. Найти наиболее вероятное и среднее значение энергии.

Вариант 2

1. Рассчитать энтропию и получить уравнение состояния адиабатически изолированного идеального газа из N молекул с энергией E . Газ заключен в объеме V .
2. Вычислить свободную и внутреннюю энергию для негармонического линейного осциллятора с потенциальной энергией $U=\beta x^4$. Внутреннюю энергию вычислить также с использованием теоремы о вириале.
3. Найти вероятность данного значения энергии E для изотермической системы N невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов.

Контрольная работа № 3

Тема Квантовая статфизика равновесных систем

Вариант 1

1. Исходя из определения математического ожидания подсчитать среднюю энергию квантового одномерного осциллятора.
2. Определить ток термоэлектронной эмиссии, когда электроны подчиняются статистике Ферми, а работа выхода электрона из металла - W . Считать, что $W - \mu \ll kT$.
3. Найти химический потенциал слабовыврожденного $\exp\{(\mu/kT)\} \ll 1$. ферми-газа.

Вариант 2

1. Система имеет невырожденный спектр $E=n\epsilon$, $n=0,1,\dots, p-1$. Определить среднюю энергию такой системы и исследовать ее поведение в зависимости от температуры.
2. Определить число столкновений со стенкой в электронном газе при $T=0$.
3. Найти химический потенциал, среднюю энергию и давление полностью

вырожденного электронного газа

Контрольная работа № 4

Тема Теория флуктуаций.
Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов

Вариант 1

1. Определить средний квадрат заряда конденсатора емкостью C , замкнутого на сопротивление R . Температура окружающей среды T .
2. Вычислить флуктуацию внутренней энергии классического идеального газа, включающего N частиц.
3. Найти среднее смещение $\langle r \rangle$ и средний квадрат смещения $\langle r^2 \rangle$ иона электролита с зарядом e в электрическом поле E . Считать, что в момент времени $t_0=0$ ион находится в начале координат.
- 4.

Вариант 2

1. Определить среднеквадратичное отклонение тока в цепи с индуктивностью L при температуре T .
2. Равновесное излучение поддерживается при температуре T . Найти флуктуации энергии и числа фотонов с заданной частотой ω .
3. Вычислить среднее смещение $\langle (r-r_0) \rangle$ броуновской частицы в отсутствии внешних сил.

Критерии оценки:

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он верно решил все задачи, указав и пояснив решения с помощью соответствующих законов и зависимостей. Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он верно решил все задачи, но допустил неточности, либо если он верно решил и пояснил решение двух задач. Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он решил задачи, но не пояснил решение, либо же если он верно решил одну задачу с указанием и пояснением решения.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту в случае, если ни одна задача не решена верно.

19.3.5 Темы курсовых работ

19.3.6 Темы рефератов

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные); тестирования**. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень умения решать практические задачи. При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.