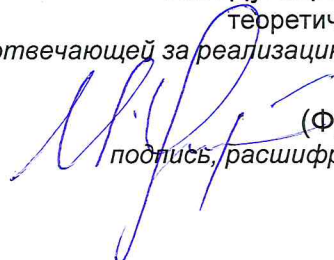


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
теоретической физики
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины



(Фролов М.В.)
подпись, расшифровка подписи

. .2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.27 – 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 выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

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

6. Составители программы Алмалиев Александр Николаевич

ФИО

К.ф.-М.Н.

доцент

ученая степень

ученое звание

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 17.06.2022 г. протокол № 6
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2024 -2025, 2025 -2026

Семестр(ы)/Триместр(ы): 6,7

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: Является дисциплиной базовой части Б1.О. Для освоения курса необходимо использовать материал всех математических дисциплин базовой части, курсов общей физики, а также курсов «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая теория». Дисциплина является предшествующей для специальных курсов по специализациям "Ядерная и медицинская физика", "Ядерная физика", "Физика лазерных и спектральных технологий", "Физика твердого тела".

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.4	Умение решать типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке)	знать: основные положения и методы термодинамики и статистической физики уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах макросистем и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;
		ОПК-1.5	Умение использовать знания основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	владеть (иметь навык(и)): практическими методами исследования макроскопических систем и применять их на практике при решении профессиональных задач
		ОПК-1.6	Владение навыками использования знаний о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении	

			практических задач, структурирования естественно-научной информации	
--	--	--	---	--

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

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) зачет, экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		6	7	...
Аудиторные занятия	108	56	52	
в том числе:	Лекции	54	28	26
	практические	54	28	26
	лабораторные			
Групповые консультации	14	14		
Самостоятельная работа	58	38	20	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)	Зачет, экзамен - 36	Зачет	Экзамен – 36	
Итого:	216	108	108	

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
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 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	Флуктуации.	Примеры вычисления флуктуаций физических величин. Рассеяние света на флуктуациях плотности. Распределение вероятности флуктуаций. Кваситермодинамическая 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			
2.1	Основные понятия и законы термодинамики.	Основное термодинамическое тождество	-
2.2	Методы и приложения термодинамики.	Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов	-
2.3	Основные представления статистической физики	Элементы теории вероятностей. Фазовое пространство. Фазовые траектории. Теорема Лиувилля	-
2.4	Классическая статистическая физика равновесных систем.	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Каноническое распределение Гиббса по энергиям. Распределения Максвелла и Больцмана.	-
2.5	Квантовая статистика	Квантовое каноническое распределение. Квантовый осциллятор. Распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.	-
2.6	Флуктуации.	Примеры вычисления флуктуаций физических величин.	-
2.7	Элементы физической кинетики	Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение.	-

3. Групповые консультации			
3.1	Методы и приложения термодинамики	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	-
3.2	Квантовая статистическая физика	Сильновырожденный бозе-газ. Бозе–Эйнштейновская конденсация. Применение статистики Бозе–Эйнштейна к тепловому равновесному излучению.	-
3.3	Теория флуктуаций	Флуктуации. Примеры вычисления флуктуаций. Рассеяние света на флуктуациях плотности. Распределение вероятности флуктуаций. Квазиротермодинамическая теория равновесных флуктуаций. Корреляция флуктуаций во времени. Спектральное разложение флуктуаций. Формула Найквиста.	-
3.4	Основы термодинамики неравновесных процессов	Исходные положения неравновесной термодинамики. Термодинамика линейных необратимых процессов. Основы неравновесной нелинейной термодинамики	-

* заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейки ставятся прочерки.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Групповые консультации	Самостоятельная работа	
6 семестр						
1	Введение. Соотношение между термодинамикой и статистической физикой.	2		2	2	6
2	Основные понятия и законы	2	2	2	6	12

	термодинамики.					
3	Методы и приложения термодинамики.	6	8	2	12	28
4	Основные представления статистической физики.	4	4	2	8	18
5	Классическая статистическая физика равновесных систем.	14	14	6	10	44
7 семестр						
6	Квантовая статистическая физика	12	14		10	36
7	Теория флуктуаций	6	4		4	14
8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов	8	8		6	22
9	Итого:	54	54	14	58	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

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 интернет, 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	Сборник задач по теоретической физике / Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич и др. — М.: Высш. шк., 1972. — 336 с.
12	Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем. Термодинамика / И.А. Квасников. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 240 с.
13	Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2: Теория равновесных систем. Статистическая физика / И.А. Квасников. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 432 с.
14	Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3: Теория неравновесных систем / И.А. Квасников. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 448 с.
15	Кубо Р. Статистическая механика / Р. Кубо. — М.: Мир, 1967. — 452 с.
16	Серова Ф.Г. Сборник задач по теоретической физике / Серова Ф.Г., А.А. Янкина. — М.: Наука, 1979. — 192 с.
17	Алмалиев А.Н., Мармо С.И., Саранцева Т.С. Лекции по квантовой механике и статистической физике. Часть I. — Воронеж, 2020. — 108 с.
18	Алмалиев А.Н., Мармо С.И., Саранцева Т.С. Лекции по квантовой механике и статистической физике. Часть II. — Воронеж, 2020. — 111 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
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, онлайн-курсы, ЭУМК

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

№ п/п	Источник
1	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.
	Квантовая и неравновесная статистика / А.Н. Алмалиев, И.В. Копытин, С.И. Мармо, Т.А. Чуракова. — Воронеж : ИПЦ ВГУ. — 2010. — 47 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория, доска, учебная литература

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1.1 – 1.8, 2.1 – 2.7, 3.1 – 3.4	ОПК-1	ОПК-1.4 ОПК-1.5 ОПК-1.6	контрольные работы 1-3
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов к экзамену

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: контрольная работа 1,2,3

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Пример варианта контрольной работы 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 $(\partial C_V / \partial V)_T = T(\partial^2 p / \partial T^2)_V$.

Пример варианта контрольной работы 2

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.

Пример варианта контрольной работы 3

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.

Описание технологии проведения

На решение заданий контрольной работы выделяется 2 академических часа. При решении задач студент может пользоваться заранее подготовленными методическими материалами.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценка «отлично»: *Подробные и безошибочные решения всех задач, допускаются незначительные вычислительные неточности.*

Оценка «хорошо»: *Подробные решения всех задач, выбор правильного хода решения для всех задач, допускаются вычислительные неточности, а также неполное выполнение отдельных заданий.*

Оценка «удовлетворительно»: *решение отдельных задач, допускаются незначительные неточности в выборе метода и хода решения задачи.*

Оценка «неудовлетворительно» *отсутствие правильно решенных задач, использование ошибочных методов и приемов для решения поставленных задач.*

20.2. Промежуточная аттестация

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.

Описание технологии проведения

Экзамен проходит в устной форме. Студенту предлагается 2 вопроса из полного списка вопросов, на которые он должен дать развернутый ответ в течение одного академического часа. В случае, если студент имеет оценку «неудовлетворительно» по одной из контрольных работ текущей аттестации, ему также предлагается одна из задачи из соответствующей контрольной работы.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

«Отлично»: Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом, умение решать практические задачи

«Хорошо»: Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала, умение решать практические задачи

«Удовлетворительно»: Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала, низкие навыки решения практических задач

«Неудовлетворительно»: плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов, отсутствие навыков решения практических задач