

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



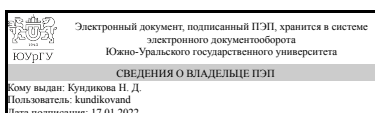
А. А. Замышляева

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины В.1.07 Статистическая физика  
для направления 03.03.01 Прикладные математика и физика  
уровень бакалавр тип программы Академический бакалавриат  
профиль подготовки Прикладные математика и физика  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Оптоинформатика

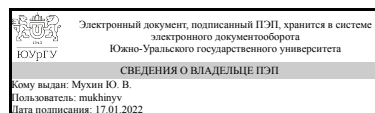
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика, утверждённым приказом Минобрнауки от 06.03.2015 № 158

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., проф.



Н. Д. Кундикова

Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент



Ю. В. Мухин

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Курс "Статистическая физика" -завершающий этап общего курса теоретической физики, преподаваемого на физическом факультете. В ходе изучения данного предмета студенты должны усвоить фундаментальные принципы статистической механики (классической и квантовой) и научиться применять их для описания и компьютерного моделирования различных систем многих частиц (конденсированные среды, наночастицы, экономические, экологические и социальные системы). Совокупность полученных в курсе «Статистическая физика» знаний и умений позволяет бакалавру решать различные профессиональные задачи в различных видах деятельности. Цель изучения дисциплины "Статистическая физика" состоит в профессиональном освоении одной из фундаментальных концепций естествознания – статистического описания динамических систем, состоящих из большого числа частиц, а также обучении студентов основным принципам теоретического описания свойств таких систем. Задачами обучения дисциплине являются овладение: принципами (постулатами) СФ и методикой их применения при постановке задач; основными методами статистической физики для решения задач макроскопической физики и определения термодинамических величин различных систем (классических и квантовых); навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.

## **Краткое содержание дисциплины**

В результате изучения студент приобретает как фундаментальные знания об основах описания равновесных систем на основе общих методов термодинамики и, статистической механики, так и навыки решения и исследования конкретных физических задач. В результате изучения дисциплины студент должен знать: понятия статистических ансамблей и распределение Гиббса как метод их описания; принципы описания статистических систем невзаимодействующих частиц (идеальных газов), в том числе квантовых; основные методы описания систем слабозаимодействующих частиц и свойств конденсированных сред; основы теории фазовых переходов 1 и 2 рода; В результате изучения дисциплины студент должен уметь: вычислять статистические суммы для идеального бозе-газа, находить с их помощью свободную энергию и любые другие термодинамические величины, характеризующие газ; вычислять и строить зависимости основных термодинамических величин для идеальных квантовых газов от температуры и плотности; использовать теорию Ландау и флуктуационную теорию фазовых переходов второго рода для описания критических явлений около точки фазового перехода; применять преобразование Боголюбова для качественного описания изменения спектра возбуждений слабонеидеального бозе-газа и возникновения сверхтекучести. В результате изучения дисциплины студент должен владеть: - основными методами статистической физики для решения задач макроскопической физики и определения термодинамических величин различных систем; -навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с изучением физических свойств макроскопических объектов.

## **2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ОПК-2 способностью применять теорию и методы математики для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности	Знать: основные математические модели и уравнения классической и квантовой статистической термодинамики; методы решения основных типов уравнений статистической физики; основы применения методов теории вероятностей и случайных процессов в задачах статистической физики.
	Уметь: применять теорию и методы математики (теория вероятностей и случайных процессов, уравнения математической физики) для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов, изучаемых статистической физикой.
	Владеть: основными методами статистической термодинамики, позволяющими проводить расчеты физических свойств конденсированных и разреженных сред; математическими методами построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в рамках статистической физики и методами решения уравнений, которые данные модели описывают.
ОПК-4 способностью применять полученные знания для анализа систем, процессов и методов	Знать: основные понятия и законы классической и квантовой статистической термодинамики, а также и обоснование основных принципов термодинамики в рамках статистического подхода, знать методы решения основных задач статистической термодинамики.
	Уметь: применять понятия и законы, определяющие термодинамические процессы в конденсированных и разреженных средах для анализа экспериментальных результатов, предсказания свойств материалов и разработки процессов их получения и обработки, а также ориентироваться в соответствующей учебной и научной литературе.
	Владеть: основными понятиями и законами классической и квантовой статистической термодинамики, а также методами решения основных задач статистической термодинамики

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
В.1.06 Квантовая механика, В.1.04 Теоретическая механика, В.1.05 Теория поля	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
В.1.04 Теоретическая механика	Знание и владение вариационными методами механики, уравнениями Лагранжа и Гамильтона.
В.1.05 Теория поля	Владение базовыми принципами, умениям и навыкам в объеме курса теории поля. Умение работать с векторными и скалярными полями, быть знакомыми с простейшими решениями уравнения Пуассона и Лапласа.
В.1.06 Квантовая механика	Владение базовыми принципами, представлениями и методами кватовой механики. Владеть методом вторичного квантования, теорией момента, знать особенности фермионных и бозонных систем.

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	80	80	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	48	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	64	64	
Подготовка к практическим занятиям	17	17	
Подготовка к экзамену	27	27	
Изучение материалов лекций	20	20	
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в термодинамику и статистическую физику. Принципы статистической физики	8	4	4	0
2	Принципы статистической физики. Статистические ансамбли.	12	4	8	0
3	Идеальный газ Больцмана	10	4	6	0
4	Квантовая статистика идеальных систем	20	8	12	0
5	Неидеальный классический газ	6	2	4	0
6	Флуктуации термодинамических величин	8	2	6	0
7	Растворы. Равновесие в многокомпонентных системах.	10	4	6	0
8	Фазовые переходы I и II рода	2	2	0	0
9	Поверхностные явления	4	2	2	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Основные понятия и законы термодинамики. Термодинамика и статистическая физика.	2
2	1	Основное термодинамическое тождество. Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла.	2
3	2	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканонический ансамбль и его функция распределения.	2
4	2	Канонический ансамбль. Статистическая сумма и статистический интеграл. Большой канонический ансамбль. Большой статистический интеграл. Связь термодинамических характеристик большого канонического ансамбля с большим статинтегралом системы.	2
5	3	Расчет статистического интеграла для идеального одноатомного газа Больцмана. Понятие температуры вырождения. Формула Сакура-Тетроде.	2
6	3	Внутренние степени свободы молекул. Понятие о размораживании внутренних степеней свободы. Статистическая сумма для вращательных степеней свлбоды молекул. Вычисление статистической суммы для колебательных степеней свободы молекул.	2
7	4	Факторизация большой статистической суммы для идеальных квантовых газов. Статистики Ферми и Бозе. Основные соотношения для термодинамических характеристик идеальных квантовых газов. Явление Бозе-конденсации.	2
8	4	Идеальный Ферми-газ электронов в металлах. Парамагнитная восприимчивость и теплоемкость электронного газа в металлах.	2
9	4	Излучение черного тела. Статистика идеального газа фотонов. Формула Планка. Термодинамика идеального фотонного газа.	2
10	4	Колебания кристаллической решетки. Модели Эйнштейна и Дебая. Статистическая термодинамика фононного газа.	2
11	5	Неидеальный классический газ. Конфигурационный интеграл. Вириальное разложение. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.	2
12	6	Вывод флуктуации энергии и числа частиц из статистического интеграла. Вывод распределения Гаусса для флуктуаций. Понятие работы создания флуктуации. Флуктуации Термодинамическая теория флуктуаций Ландау	2
13	7	Разбавленные растворы. Обобщение основных соотношений статистической термодинамики на случай многокомпонентных систем. Вычисление химпотенциалов разбавленного раствора.	2
14	7	Закон Рауля. Понятие идеального раствора. Основные типы бинарных фазовых диаграмм	2
15	8	Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Соотношение Эренфеста. Понятие переходов первого и второго рода. Фазовый переход второго рода как изменение симметрии атомного или магнитного порядка. Понятие порядка. Теория Ландау переходов второго рода.	2
16	9	Понятие о поверхностных термодинамических характеристиках. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Краевой угол. Избыточное давление.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во
-----------	-----------	---	--------

			часов
1	1	Начала термодинамики. Понятие полного дифференциала в термодинамике. Термодинамические тождества.	2
2	1	Термодинамические потенциалы: U, H, F, потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал. Соотношения Максвелла.	2
3	2	Решение задач основанных на использовании микроканонического ансамбля.	2
4	2	Решение задач с использованием канонического ансамбля: вычисление характеристик одноатомного идеального больцмановского газа. Задачи с использованием канонического ансамбля в квантовом случае.	2
5	2	Задачи на использование большого канонического ансамбля.	2
6	2	Контрольная работа №1	2
7	3	Задачи на вычисление термодинамических характеристик многоатомных газов. Число степеней свободы, вращательные степени свободы.	2
8	3	Колебательные степени свободы молекул.	2
9	3	Контрольная работа №2	2
10	4	Идеальные системы бозонов и фермионов. Распределения Бозе-Эйнштейна, Ферми-Дирака и распределение Больцмана. Конденсация Бозе-Эйнштейна.	2
11	4	Статистика фотонного газа. Формула Планка. Термодинамические характеристики фотонного газа.	2
12	4	Теплоемкость твердых тел. Упругие колебания и фононы. Формула Дебая.	2
13	4	Вырожденный электронный газ. Уровень Ферми, температура Ферми.	2
14	4	Теплоемкость вырожденного электронного газа. Парамагнетизм Паули. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	2
15	4	Контрольная работа №3	2
16	5	Неидеальный классический газ. Коэффициенты вириального разложения.	2
17	5	Уравнение Ван-дер-Ваальса	2
18	6	Флуктуации энергии и числа частиц на основе статистических интегралов.	2
19	6	Работа создания флуктуации. Флуктуации и погрешность эксперимента.	2
20	6	Термодинамическая теория флуктуаций Ландау	2
21	7	Контрольная работа № 4	2
22	7	Разбавленные растворы	2
23	7	Основные виды фазовых диаграмм бинарных систем. Использование правила рычага.	2
24	9	Поверхностные явления.	2

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Изучение материалов лекций	1. Ансельм, А.И. Основы статистической физики и термодинамики. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2007. — 448 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/692">http://e.lanbook.com/book/692</a> (главы 1-10) 2. Ландау, Л.Д. Курс теоретической физики. Статистическая физика.	20

	[Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 616 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/2230">http://e.lanbook.com/book/2230</a> — Загл. с экрана. (главы 1-6, 12)	
Подготовка к практическим занятиям	1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики : учебн.пособие, (главы 1-10). 2. Караваев, Г. Ф. Основы термодинамики и статистической физики в задачах : с решениями. (страницы 5-170) 3. Методические пособия для самостоятельной работы студента: Еркович О.С., Морозов А.Н. Методические указания к решению задач по курсу «Статистическая физика» (страницы 10-25) 4 Р. Кубо, Статистическая механика, (главы 1-4,6) (Библиотека ЮУрГУ, Термодинамика и статистическая физика Электронный ресурс 27 кн. в PDF-формате. - Б. м.: Регулярная и хаотическая динамика, 2004)	17
Подготовка к экзамену	1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики : учебн.пособие, (главы 1-10). 2. Леонтович, М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика Текст учеб. пособие М. А. Леонтович. - 2-е изд., стер. - СПб. и др.: Лань, 2008. - 416 с. (страницы 163 - 355) 3. Р. Кубо, Статистическая механика, (главы 1-4,6) (Библиотека ЮУрГУ, Термодинамика и статистическая физика Электронный ресурс 27 кн. в PDF-формате. - Б. м.: Регулярная и хаотическая динамика, 2004) 4 Караваев, Г. Ф. Основы термодинамики и статистической физики в задачах : с решениями [Текст] учеб. пособие для вузов по специальности 010701 "Физика" и по направлению ВПО 010700 "Физика" Г. Ф. Караваев, В. В. Герасимов. - Ростов н/Д: Феникс, 2012. - 174 (страницы 5-170)	27

## 6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Информационно-коммуникационные технологии	Лекции	компьютерные презентации	32

## Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

### 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

#### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ОПК-4 способностью применять полученные знания для анализа систем, процессов и методов	Экзамен	Задачи к экзамену
Все разделы	ОПК-2 способностью применять теорию и методы математики для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности	Экзамен	Задачи к экзамену
Все разделы	ОПК-4 способностью применять полученные знания для анализа систем, процессов и методов	Контрольные работы	к.р. 1-4
Все разделы	ОПК-2 способностью применять теорию и методы математики для построения качественных и количественных моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности	Контрольные работы	к.р. 1-4

#### 7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Контрольные работы	Каждая контрольная работа оценивается одинаково. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл. Весовой коэффициент каждой контрольной работы - 1.	Отлично: Рейтинг за работу от 85% Хорошо: Рейтинг за работу от 75% Удовлетворительно: Рейтинг за работу от 60% Неудовлетворительно: Рейтинг за работу менее 60%
Экзамен	Экзамен является обязательным контрольным мероприятием промежуточной аттестации. При оценивании результатов промежуточной аттестации используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от	Отлично: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 85...100 % Хорошо: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 75...84 %



	<p>24.05.2019 г. № 179). Рейтинг по дисциплине рассчитывается по балльно-рейтинговой системе оценивания и включает контрольные работы и результаты экзамена с соответствующими весовыми коэффициентами. Экзамен является письменной работой. Максимальное количество баллов за мероприятие - 20. Вес мероприятия - 2. Работа включает 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Каждая из задач оценивается в 4 балла. Если приводится верное решение и верный полный ответ, тогда начисляется 4 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии верного решения начисляются баллы от 2-х до 4-х в зависимости от полноты решения и от верности и полноты ответа: верное решение неверный ответ - 2 балла; верное решение и неполный ответ -3 балла; верное и полное решение и неточный ответ -3 балла; верное решение и полный верный ответ - 4 балла.</p>	<p>Удовлетворительно: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 60...74 % Неудовлетворительно: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 0...59 %</p>
--	---	---

### 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Контрольные работы	Варианты задач для контрольных работ.pdf
Экзамен	Варианты экзаменационных задач.pdf

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Леонтович, М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика [Текст] учеб. пособие М. А. Леонтович. - 2-е изд., стер. - СПб. и др.: Лань, 2008. - 416 с. ил.
2. Василевский, А. С. Термодинамика и статистическая физика [Текст] учеб. пособие для вузов по специальностям в обл. физики и естеств.-науч. образования А. С. Василевский. - 2-е изд., перераб. - М.: Дрофа, 2006. - 240 с. ил.
3. Берклеевский курс физики [Текст] Т. 5 Статистическая физика / Ф. Рейф в 5 т.: пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга. - 3-е изд., испр. - М.: Наука, 1986. - 335, [1] с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Р.Кубо, Статистическая механика. М.: Мир, 1967, 458с. ( Библиотека ЮУрГУ, Термодинамика и статистическая физика Электронный ресурс 27 кн. в PDF-формате. - Б. м.: Регулярная и хаотическая динамика, 2004)

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

1. Р.Кубо, Статистическая механика. М.: Мир, 1967, 458с. ( Библиотека ЮУрГУ, Термодинамика и статистическая физика Электронный ресурс 27 кн. в PDF-формате. - Б. м.: Регулярная и хаотическая динамика, 2004)

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., стереот. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 5 : Статистическая физика. В 2 ч. Ч. 1 — 2021. — 620 с. — ISBN 978-5-9221-1510-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/185665">https://e.lanbook.com/book/185665</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский ; под редакцией Г. С. Ландсберга. — 5-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 9 : Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния — 2021. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-1580-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/185699">https://e.lanbook.com/book/185699</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Физическая кинетика. Том X : учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 2-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 536 с. — ISBN 5-9221-0125-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2692">https://e.lanbook.com/book/2692</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### 9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

### 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Не предусмотрено