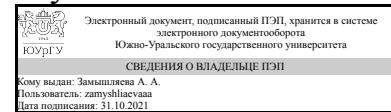


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



А. А. Замышляева

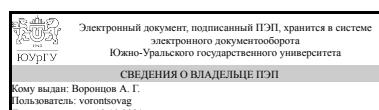
## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.П1.03 Статистическая физика  
для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
уровень Бакалавриат  
профиль подготовки Наноэлектроника: проектирование, технология, применение  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению  
подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом  
Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

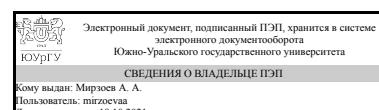
Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.

А. Г. Воронцов



Разработчик программы,  
д.физ.-мат.н., снс, профессор

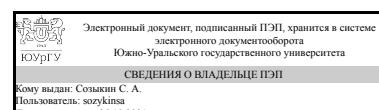
А. А. Мирзоев



СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной  
программы  
к.физ.-мат.н., доц.

С. А. Созыкин



Челябинск

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является овладение фундаментальной физико-математической базой, используемой для формирования профессиональных знаний и понимания физической картины мира. Задачами дисциплины являются: изучить основные понятия и законы статистической физики, овладеть методами научного исследования в данной области. Ознакомиться с современным состоянием статистической физики и ее применением в физических приложениях и новых технологиях.

## **Краткое содержание дисциплины**

Изложение начинается с основных понятий, постулатов и вычислительных методов термодинамики. Затем излагаются распределения Гиббса, из которых выводится все термодинамическое описание. Методы Гиббса иллюстрируются применениями к расчету свойств классического больцмановского газа. Затем изучаются свойства квантовых газов фермионов и бозонов, после чего методы квантовой статистической физики применяются для описания физических явлений в идеальных Ферми и Бозе газах.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает: положения статистической физики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: на основе атомистических моделей вычислять основные макроскопические характеристики (структурные, электрические и магнитные) конденсированных тел на основе методов статистической физики

## **3. Место дисциплины в структуре ОП ВО**

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Вычислительная электродинамика, Вычислительная математика, Введение в твердотельную электронику, Квантовая механика, Теория функций комплексного переменного, Компьютерные сети и системы	Физика и диагностика поверхности, Программные системы инженерного анализа, Специальные главы квантовой механики, Схемотехника цифровых устройств, Физика конденсированного состояния, Электроника СВЧ, Введение в квантовую обработку информации

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

Дисциплина	Требования
Компьютерные сети и системы	Знает: принципы проектирования и настройки компьютерных сетей и систем Умеет: Имеет практический опыт:
Теория функций комплексного переменного	Знает: положения теории функций комплексного переменного, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Введение в твердотельную электронику	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков твердотельной электроники Имеет практический опыт:
Квантовая механика	Знает: положения квантовой механики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Вычислительная математика	Знает: алгоритмы вычислительной математики необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Вычислительная электродинамика	Знает: положения вычислительной электродинамики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 ч., 108,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам
		в часах
		Номер семестра
Общая трудоёмкость дисциплины	180	180
Аудиторные занятия:	96	96
Лекции (Л)	48	48
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	48
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	71,5	71,5
с применением дистанционных образовательных технологий	0	

Подготовка к практическим занятиям	30	30
Подготовка к лекционным занятиям	21,5	21,5
Подготовка к экзамену	20	20
Консультации и промежуточная аттестация	12,5	12,5
Вид 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	Основы статистической физики	32	16	16	0
2	Классические системы	32	16	16	0
3	Квантовые системы	32	16	16	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	1	Фазовое пространство. Вероятность состояния системы многих частиц в многомерном фазовом пространстве. Теорема Лиувилля и ее следствия.	2
4	1	Микроканонический ансамбль и его функция распределения.	2
5	1	Канонический ансамбль. Статистическая сумма и статистический интеграл.	2
6	1	Распределения Максвелла, Больцмана. Расчет статистического интеграла для идеального одноатомного газа. Понятие температуры вырождения. Вывод формулы для энтропии идеального газа	2
7	1	Большой канонический ансамбль. Большой статистический интеграл. Связь термодинамических характеристик большого канонического ансамбля с большим статинтегралом системы.	2
8	1	Контрольная работа №1	2
9	2	Понятие температуры вырождения. Вывод формулы для энтропии идеального газа. Химический потенциал идеального газа.	2
10	2	Неидеальный классический газ. Конфигурационный интеграл. Вириальное разложение. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса. Описание фазового перехода жидкость-газ на основе уравнения Ван-дер-Ваальса.	2
11	2	Условие равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Растворы. Обобщение основных соотношений статистической термодинамики на случай многокомпонентных систем. Правило Гиббса.	2
12	2	Вычисление химпотенциалов разбавленного раствора. Закон Рауля. Понятие идеального раствора. Основные типы бинарных фазовых диаграмм	2
13	2	Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Понятие переходов первого и второго рода. Фазовый переход второго рода как изменение симметрии атомного или магнитного порядка. Понятие параметра порядка	2
14	2	Понятие о поверхностных термодинамических характеристиках. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Краевой угол. Избыточное давление	2
15	2	Флуктуации термодинамических характеристик. Вывод флуктуации энергии и числа частиц из статистического интеграла. Термодинамическая теория	2

		флуктуаций Эйнштейна- Ландау.	
16	2	Контрольная работа 2.	2
17	3	Квантовые эффекты при расчете теплоемкости молекулярных газов. Внутренние степени свободы молекул. Понятие о размораживании внутренних степеней свободы. Статистическая сумма для вращательных и колебательных степеней свободы молекул.	2
18	3	Факторизация большой статистической суммы для идеальных квантовых газов. Статистики Ферми и Бозе. Основные соотношения для термодинамических характеристик идеальных квантовых газов.	2
19	3	Бозе-газы. Явление бозе-конденсации.	2
20	3	Идеальный Ферми-газ электронов в металлах. Теплоемкость электронного газа в металлах.	2
21	3	Излучение черного тела. Статистика идеального газа фотонов. Формула Планка. Термодинамика идеального фотонного газа.	2
22	3	Колебания кристаллической решетки. Модели Эйнштейна и Дебая. Статистическая термодинамика фононного газа.	2
23	3	Статистика электронов и дырок в полупроводниках	2
24	3	Контрольная работа №3	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 (энергия, энталпия, свободные энергии Гельмгольца и Гиббса, большой термодинамический потенциал. Соотношения Максвелла. Метод якобианов	2
3	1	Траектории простых систем в фазовом пространстве. Примеры, подтверждающие теорему Лиувилля.	2
4	1	Решение задач, основанных на использовании микроканонического ансамбля.	2
5	1	Решение задач с использованием канонического ансамбля	2
6	1	Эквивалентность канонического и микроканонического ансамбля на примере решения задач.	2
7	1	Решение задач с использованием большого канонического ансамбля	2
8	1	Самостоятельная работа №1	2
9	2	Расчет характеристик одноатомного идеального бульмановского газа.	2
10	2	Расчет конфигурационного интеграла и вириального разложения для разреженного реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса	2
11	2	Использование уравнения Клапейрона – Клаузиуса для оценки фазовых равновесий	2
12	2	Влияние концентрации примесей на равновесную температуру и давление разбавленного раствора	2
13	2	Фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик	2
14	2	Поверхностное натяжение, поверхностная энергия и избыточное давление. Капиллярный эффект	2
15	2	Расчеты флуктуаций термодинамических характеристик	2
16	2	Самостоятельная работа №2	2
17	3	Вычисление статистической суммы для вращательных и колебательных степеней свободы молекул.	2

18	3	Вычисление термодинамических характеристик идеальных квантовых газов	2
19	3	Задачи на бозе-газы и явление бозе-конденсации.	2
20	3	Формула Планка. Термодинамика и свойства идеального фотонного газа.	2
21	3	Колебания и термодинамические характеристики кристаллической решетки в моделях Эйнштейна и Дебая.	2
22	3	Свойства идеального Ферми-газа электронов в металлах	2
23	3	Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	2
24	3	Самостоятельная работа №3	2

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к практическим занятиям	Раздел 1. ОУМД-1, Гл.1-4, стр.7-96; ЭУМД-5 гл.1-2, стр.9-46. Раздел 2. ОУМД-1, Гл.5, стр.97-112; ЭУМД-5 гл.2, стр.47-67, гл..5 стр.147-175. Раздел 3. ОУМД-1, Гл.6, стр.119-144; ЭУМД-5 гл.2, стр.68-80, гл.3 стр.84-105.	5	30
Подготовка к лекционным занятиям	Раздел 1. ЭУМД-1, Гл.1-4, стр.7-96; ЭУМД-2 гл.1 стр.9-58 Раздел 2. ЭУМД-1, Гл.5, стр.97-112; ЭУМД-2 гл.1, стр.59-67, гл.4 стр.88-124, гл.5 стр.158-174, гл.7 стр.199-204, гл.8 стр.208-258. Раздел 3. ЭУМД-1, Гл.6, стр.119-144; ЭУМД-2 гл.2, стр.68-80, гл.9 стр.278-314.	5	21,5
Подготовка к экзамену	Раздел 1. ОУМД-1, Гл.1-4, стр.7-96; ЭУМД-5 гл.1-2, стр.9-46. Раздел 2. ОУМД-1, Гл.5, стр.97-112; ЭУМД-5 гл.2, стр.47-67, гл..5 стр.147-175. Раздел 3. ОУМД-1, Гл.6, стр.119-144; ЭУМД-5 гл.2, стр.68-80, гл.3 стр.84-105.	5	20

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	5	Текущий контроль	Самостоятельная работа №1	1	10	Даются три теоретических вопроса и две задачи из списка задач для	экзамен

						практических занятий. Каждый вопрос и задача оценивается в 2 балла (2 - полный ответ(решение), 1 - частичный ответ(решение) , 0- отсутствие или неверный ответ(решение)).	
2	5	Текущий контроль	Самостоятельная работа №2	1	7	Даются три теоретических вопроса и две задачи из списка задач для практических занятий. Каждый вопрос и задача оценивается в 2 балла (2 - полный ответ(решение), 1 - частичный ответ(решение) , 0- отсутствие или неверный ответ(решение)).	экзамен
3	5	Текущий контроль	Самостоятельная работа №3	1	10	Даются три теоретических вопроса и две задачи из списка задач для практических занятий. Каждый вопрос и задача оценивается в 2 балла (2 - полный ответ(решение), 1 - частичный ответ(решение) , 0- отсутствие или неверный ответ(решение)).	экзамен
4	5	Текущий контроль	Контрольная работа №1	2	5	В контрольной работе 5 заданий. За каждое задание начисляется до 2х баллов: 1 балл - правильно записаны исходные формулы (задание сделано частично), 2 балла - получен правильный ответ (задание сделано полностью).	экзамен
5	5	Текущий контроль	Контрольная работа №2	1	5	В контрольной работе 5 заданий. За каждое задание начисляется до 1 балла: 0,5 балл - правильно записаны исходные формулы (задание сделано частично), 1 балл - получен правильный ответ (задание сделано полностью).	экзамен
7	5	Бонус	Работа на занятиях	1	10	Пассивная работа на занятиях (процент посещенных занятий) 0-20% - 0 баллов, 21-40% - 1 балл, 41-60% - 2 балла, 61-80% - 3 балла, 81-100% - 4 балла. Активная работа на занятиях (ответ у доски) - каждый ответ до 3-х баллов. Суммарный балл за работу на занятиях не превышает 10 баллов.	экзамен
8	5	Промежуточная аттестация	Письменный экзамен	5	8	Билет содержит 4 задания: 2 теоретических вопроса и 2 задачи. Оценка задания: 0 баллов- ответа (решения) нет или он неверен; 1 балл - задание сделано частично (правильно записаны только исходные формулы, имеются недочеты в формулировках); 2 баллов - задание сделано полностью (получен правильный ответ, присутствуют точные формулировки).	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной	Процедура проведения	Критерии оценивания
-------------------	----------------------	---------------------

аттестации		
экзамен	<p>Контрольное мероприятие промежуточной аттестации является обязательным и проводится в форме письменного экзамена. Время на работу -1,5 часа. Билет содержит 4 задания: 2 теоретических вопроса и 2 задачи. При выполнении заданий студент может пользоваться только таблицами интегралов и физических констант. Для уточнения оценки промежуточной аттестации преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы.</p>	<p>В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения</p>

### 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ							
		1	2	3	4	5	7	8	
ПК-1	Знает: положения статистической физики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения								
ПК-1	Умеет: на основе атомистических моделей вычислять основные макроскопические характеристики (структурные, электрические и магнитные) конденсированных тел на основе методов статистической физики								

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### a) основная литература:

1. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика Учеб. пособие для физ. спец. вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Наука, 1977. - 552 с. граф.

#### б) дополнительная литература:

1. 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.

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

1. Успехи физических наук (1945-2020 гг.)

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

1. А. Г. Воронцов, А. А. Мирзоев Статистическая физика , учеб. пособие для бакалавров направления 03.03.01 "Приклад. математика и физика" Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физика наноразмерных систем , 2019. - 159 с.

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

1. А. Г. Воронцов, А. А. Мирзоев Статистическая физика , учеб. пособие для бакалавров направления 03.03.01 "Приклад. математика и физика" Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физика наноразмерных систем , 2019. - 159 с.

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Электронный каталог ЮУрГУ	Статистическая физика [Текст] : учеб. пособие для бакалавров направления 03.03.01 "Приклад. математика и физика" / А. Г. Воронцов, А. А. Мирзоев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физика наноразмерных систем ; ЮУрГУ <a href="http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000562909">http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000562909</a>
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-0756-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167726">https://e.lanbook.com/book/167726</a> (дата обращения: 13.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Краснопевцев, Е. А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 387 с. — ISBN 978-5-7782-3366-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118453">https://e.lanbook.com/book/118453</a> (дата обращения: 13.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л. Д. Курс теоретической физики. Статистическая физика : учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 616 с. — ISBN 978-5-9221-0054-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2230">https://e.lanbook.com/book/2230</a> (дата обращения: 13.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Кондратьев, А. С. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории : учебное пособие / А. С. Кондратьев, П. А. Райгородский. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 256 с. — ISBN 978-5-9221-0876-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2209">https://e.lanbook.com/book/2209</a> (дата обращения: 13.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Math Works-MATLAB, Simulink 2013b(бессрочно)
2. Microsoft-Microsoft windows (SoftwareAssurancePack Academic 1 Year - Миасс)(31.12.2019)
3. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для
-------------	--------	--

		различных видов занятий
Лекции	305 (16)	Стандартное оборудование (учебная мебель для обучающихся, рабочее место преподавателя, доска, мультимедийное оборудование стационарное или переносное)
Практические занятия и семинары	447 (1)	Стандартное оборудование (учебная мебель для обучающихся, рабочее место преподавателя, доска, мультимедийное оборудование стационарное или переносное)