

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б1.О.17.04 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Статистическая физика

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Направленность (профиль)

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения

очная

Год набора

2022

Красноярск 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили \_\_\_\_\_

д.ф.-м.н., профессор, М.М.Коршунов; к.ф.-м.н., доцент, Ю.Н.Тогушова

должность, инициалы, фамилия

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Изучение курса «Статистическая физика» ставит своей целью сформировать у студентов знания об основных законах и свойствах термодинамики равновесных процессов, принципах статистической физики, термодинамических свойствах конденсированных сред, неидеальных статистических систем, случайных процессах и физической кинетики. В рамках курса предполагается изучить основные экспериментальные закономерности, лежащие в основе законов термодинамики, статистический метод описания классических и квантовых макроскопических систем, взаимосвязь законов термодинамики и статистической физики, неравновесную термодинамику и физическую кинетику, познакомить с основами физики взаимодействующих систем и методами их описания. Курс призван выработать навыки использования знаний и умений для моделирования физических явлений и проведения численных расчетов.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

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.

Рассмотреть основные экспериментальные закономерности термодинамических явлений, статистические методы описания свойств вещества, структуру и математическую форму основных уравнений статистической физики, равновесной и неравновесной термодинамики и физической кинетики, особенности их использования при описании различных явлений, а также методы описания кинетических явлений и способы нахождения обобщенных кинетических коэффициентов.

Раскрыть роль статистических закономерностей в физике конденсированных сред.

Рассмотреть основные методы экспериментального и теоретического исследования термодинамических явлений, использование термодинамических явлений в современных технологиях.

Проанализировать основные принципы моделирования термодинамических явлений, установить область применимости этих моделей, рассмотреть способы вычисления физических величин, характеризующих явления.

### 1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических</b>	

**явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;**

ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные законы и свойства термодинамики равновесных процессов, принципы статистической физики, термодинамические свойства конденсированных сред, неидеальных статистических систем, случайных процессов и физической кинетики
ОПК-1.2: Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь применять методы статистической физики в своей профессиональной деятельности

**1.4 Особенности реализации дисциплины**

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Сем естр	
		1	2
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>4 (144)</b>		
занятия лекционного типа	2 (72)		
практические занятия	2 (72)		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>2 (72)</b>		
курсовое проектирование (КП)	Нет		
курсовая работа (КР)	Нет		
<b>Промежуточная аттестация (Зачёт) (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>		

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
<b>1. Термодинамическое описание макросистем</b>									
	1. Объекты исследования термодинамики и стат. физики, цели каждой, взаимодополняемость и первичность. Температура. Энтропия. Работа.	2							
	2. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Теплоёмкость. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Второе начало термодинамики. Аксиоматика термодинамики – три начала (и нулевое). Принцип Нернста (третье начало) и его следствия.	2							
	3. Термодинамические коэффициенты, соотношения между ними. Отсутствие взаимодействия молекул идеального газа на расстоянии. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса.	2							
	4. Процессы Гей-Люссака и Джоуля-Томпсона. Энтальпия. Термодинамический потенциал (потенциал Гиббса), метод термодинамических функций.	2							

5. Политропические процессы. Поливариантные системы. Химический потенциал. Неравновесные процессы – рост энтропии, парадокс Гиббса.	2							
6. Системы в электрических и магнитных полях: два способа наложения электрического поля, вычисление работы для каждого из способов, природа отличия выражений для работы. Способ измерения работы. Два способа наложения магнитного поля и соответствующие выражения для работы.	2							
7. Симметричные свойства фазовых переходов 2-го рода, параметр порядка. Теория Ландау, скачок теплоёмкости. Связь скачков различных термодинамических коэффициентов друг с другом – уравнения Эренфеста.	2							
8. Экстремальные свойства термодинамических функций. Термодинамические неравенства. Равновесие фаз. Фазовые переходы 1-го рода. Молярная теплота перехода, уравнение Клайперона-Клаузиуса. Равновесие 3-х фаз, тройная точка. Фазовые переходы 2-го рода.	2							
9. Феноменологическое обобщение теории Ландау фазовых переходов 2-го рода, критические индексы.	2							
10. Математическое введение			2					
11. Квазистатические процессы			2					
12. I закон термодинамики			2					
13. II закон термодинамики			2					
14. Термодинамические функции			2					
15. III закон термодинамики (теорема Нернста)			2					
16. Термодинамика стержней и магнетиков			2					

17. Равновесие фаз			2					
18. Контрольная работа			2					
19.							18	
<b>2. Основы статистической физики равновесных систем</b>								
1. Квантовые состояния, определения вырождения и энергии системы. Простейшая модель статистической системы – модель линейной цепочки невзаимодействующих спинов в отсутствие внешних полей.	2							
2. Число состояний и степень вырождения. Резкий максимум функции степени вырождения (переход к распределению Гаусса). Энергия магнитной системы. Основное предположение статистической физики, замкнутость системы, вероятность, среднее по ансамблю.	2							
3. Две системы в тепловом контакте. Определение энтропии и температуры. Третье начало термодинамики.	2							
4. Аддитивность и возрастание энтропии, второе начало термодинамики. Магнитное охлаждение, восприимчивость, закон Кюри. Обобщённая энтропия. Две системы в диффузионном контакте. Химический потенциал.	2							
5. Факторы Гиббса и Больцмана. Большая стат. сумма. Вычисление средних по ансамблю, число частиц и энергия. Случай постоянного числа частиц, стат. сумма. Отрицательные температуры.	2							



6. Давление и термодинамическое тождество. Необратимые процессы. Определение энтропии по Больцману. Выражения для свободной энергии и большого термодинамического потенциала через стат. суммы. Свободная энергия Гиббса и энтальпия.	2							
7. Принцип Паули, фермионы и бозоны. Получение функций распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Квантовая теория свободной частицы в ящике со стенками длиной $L$ (одно- и трёхмерный случай).	2							
8. Одноатомный идеальный газ. Классический режим. Химический потенциал, энергия, энтропия и уравнение Сакура-Тетроде. Давление и уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость. Малость флуктуаций числа частиц и энергии в макроскопической системе.	2							
9. Свободная энергия и стат. сумма. Минимум свободной энергии при равновесии. Намагниченность магнитной системы со спиновым избытком $2m$ , фазовый переход в ферромагнитное состояние при температуре Кюри. Свободная энергия и стат. сумма для идеального газа.	2							
10. Элементы теории вероятностей			4					
11. Распределение Максвелла			2					
12. Распределение Больцмана			2					
13. Распределение Гиббса			2					
14. Квантовое каноническое распределение			2					
15. Каноническое распределение. Квазиклассическое приближение			2					
16. Теорема о вириале			2					

17. Контрольная работа			2					
18.							18	
<b>3. Статистические распределения для квантовых газов и теория флуктуаций</b>								
1. Применение распределения Ферми-Дирака. Вырожденный ферми-газ. Энергия Ферми. Плотность состояний (орбиталей) для трёхмерного, двумерного и одномерного случаев. Теплоемкость вырожденного ферми-газа, температура Ферми. Теплоемкость в металле.	2							
2. Функция распределения Планка для фотонов. Плотность фотонных мод. Флуктуации числа фотонов.	2							
3. Фононы в твёрдых телах, теория Дебая.	2							
4. Описание фононов как квазичастиц.	2							
5. Применение распределения Бозе-Эйнштейна. Физика бозонов. Жидкий гелий. Бозе-конденсация. Температурная зависимость теплоёмкости. Явление сверхтекучести.	2							
6. Бозе-конденсация: вывод дисперсии квазичастиц для газа взаимодействующих бозонов методом Боголюбова.	2							
7. Матрица плотности, чистые состояния, изменение со временем матрицы плотности. Квантовое уравнение Лиувилля.	2							
8. Флуктуации, дисперсия, относительная флуктуация. Флуктуации энергии, объёма и числа частиц в T-V-N, T-P-N и T-V-μ системах. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации чисел заполнения в идеальном газе. Флуктуационный предел чувствительности приборов, формула Найквиста.	2							
9. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля			2					

10. Идеальный ферми-газ			2					
11. Распределение Ферми-Дирака. Условие вырождения			2					
12. Распределение Ферми-Дирака			4					
13. Электронный газ в квантующем магнитном поле			2					
14. Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотонный газ			4					
15. Конденсация Бозе-Эйнштейна			2					
16. Распределение Бозе-Эйнштейна			2					
17. Бозе-жидкость			2					
18. Флуктуации термодинамических величин			2					
19. Флуктуации энергии			2					
20. Флуктуации числа частиц			2					
21.							28	
<b>4. Физическая кинетика, основы неравновесной термодинамики и метода Кубо</b>								
1. Неравновесные состояния и процессы. Предметы изучения кинетики и неравновесной термодинамики. Функция распределения в кинетике. Разреженный и плотный газы. Стохастическое движение в газах высокой плотности, марковские процессы, уравнение Смолуховского и принцип детального равновесия.	2							
2. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение частицы в газе или жидкости во внешнем поле.	2							
3. Уравнение кинетического баланса, запись в квантовом случае. Пример идеального газа с двумя невырожденными уровнями энергии. Система атомов в равновесии с электромагнитным излучением, вывод формулы Планка по Эйнштейну.	2							

4. Разреженный газ, интеграл столкновений, вывод кинетического уравнения Больцмана. Запись интеграла столкновений через сечение рассеяния.	2							
5. Уравнения переноса Максвелла. Законы изменения массы, импульса, кинетической и потенциальной энергий.	2							
6. Законы сохранения и возрастания энтропии, H-теорема Больцмана. Функция распределения при локальном равновесии.	2							
7. Стадии эволюции неравновесной системы: первоначальная хаотизация, кинетический этап, гидродинамический этап. Уравнения газовой динамики, необходимость дополнить их феноменологическими уравнениями. Возникновение вязких сил в неравновесных процессах.	2							
8. Неравновесная термодинамика: уравнения баланса массы, энергии, импульса, энтропии. Соотношения Онсагера.	2							
9. Метод Кубо, матрица плотности системы во внешнем поле. Вычисление тензора проводимости вещества, диэлектрическая проницаемость.	2							
10. Теория линейного отклика неравновесной системы на возмущение. Двухвременные функции Грина.	2							
11. Броуновское движение			4					
12. Распределение Пуассона			2					
13. Контрольная работа			2					
14.							8	
Всего	72		72				72	

## 4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 4.1 Печатные и электронные издания:

1. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: учебное пособие для вузов по специальности "Физика"(Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова).
2. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов(Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.).
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: Т. 5. Статистическая физика: учебное пособие для физических специальностей университетов: в 10-ти т.(Москва: Физматлит).
4. Киттель Ч., Капица С. П. Статистическая термодинамика: перевод с английского(Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.).
5. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: учеб. пособие (Москва: Изд-во МГУ).
6. Кондратьев А. С., Райгородский П. А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории: учеб. пособие(Москва: Физматлит).
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Лившиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: Т. 9. Статистическая физика: в 10 томах : учебное пособие для физических специальностей университетов (Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы [Физматлит]).
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика: учебное пособие для физических специальностей вузов: [в 5-ти т.](Москва: Физматлит).
9. Ландсберг П. Задачи по термодинамике и статистической физике: перевод с английского(Москва: Мир).
10. Кубо Р. Статистическая механика: перевод с английского: современный курс с задачами и решениями(Москва: Мир).
11. Фейнман Р. Ф., Зубарев Д. Н. Статистическая механика: курс лекций (Москва: Мир).
12. Кубо Р., Ичимура Х., Усуи Ц., Хасизуме Н., Зубарев Д. Н. Термодинамика: современный курс с задачами и решениями: перевод с английского(Москва: Мир).
13. Саранин В. А. Статистическая физика и термодинамика: учебное пособие(Глазов: ГППИ им. Короленко).
14. Тогушова Ю. Н., Коршунов М. М. Термодинамика и статистическая физика: учебно-методическое пособие [для практических занятий и самостоятельной работы студентов напр. 010700.62 «Физика» и спец. 010708.65 «Биохимическая физика»](Красноярск: СФУ).
15. Коршунов М.М., Тогушова Ю.Н. Статистическая физика: [учеб.-метод. материалы к изучению дисциплины для ...03.03.02 Физика, 03.03.02.01 Фундаментальная физика, 03.03.02.07 Биохимическая физика, 14.03.02

Ядерные физика и технологии, 16.03.01 Техническая физика, 28.03.01.02  
Материалы микро- и наносистемной техники](Красноярск: СФУ).

**4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Microsoft Office
2. Adobe Reader

**4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. ИСС не используются

#### **5 Фонд оценочных средств**

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

**6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Занятия проводятся в учебных аудиториях для занятий лекционного и семинарского типа. Необходимое оборудование: учебная мебель, доска.