

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

Б1.О.18.04 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Статистическая физика

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

03.03.02.33 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
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических	

и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	
ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами природы; основными физическими и математическими методами накопления, передачи и обработки информации	основы статистической физики
ОПК-1.2: Применяет полученные знания для решения задач теоретического и прикладного характера	применять полученные знания в области статистической физики в своей профессиональной деятельности
ОПК-1.3: Использует базовые экспериментальные и теоретические методы исследований	методами решения задач статистической физики

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
Контактная работа с преподавателем:	4 (144)		
занятия лекционного типа	2 (72)		
практические занятия	2 (72)		
Самостоятельная работа обучающихся:	2 (72)		
курсовое проектирование (КП)	Нет		
курсовая работа (КР)	Нет		
Промежуточная аттестация (Зачёт) (Экзамен)	1 (36)		

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
1. Термодинамическое описание макросистем									
	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. 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							
8. Симметричные свойства фазовых переходов 2-го рода, параметр порядка. Теория Ландау, скачок теплоёмкости. Связь скачков различных термодинамических коэффициентов друг с другом – уравнения Эренфеста.	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	
2. Основы статистической физики равновесных систем								
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	
19.								
3. Статистические распределения для квантовых газов и теория флуктуаций								
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	
4. Физическая кинетика, основы неравновесной термодинамики и метода Кубо								
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. Белонучкин В. Е., Заикин Д. А., Ципенюк Ю. М., Ципенюк Ю. М. Основы физики. Курс общей физики: Т. 2. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика(Москва: Физматлит).
2. Церковников Ю. А., Рудой Ю. Г. Статистическая механика: избранные труды(Москва: Янус-К).
3. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: учебное пособие для вузов по специальности "Физика"(Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова).
4. 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]).
5. Терлецкий Я. П. Статистическая физика: учеб. пособие(Москва: Высшая школа).
6. 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).
7. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика: учебное пособие для студентов университетов, обучающихся по специальности *Физика*(Москва: Московский университет [МГУ] им. М.В. Ломоносова).
8. Паньков А. А. Статистическая механика пьезокомполитов: монография (Пермь: ПГТУ).
9. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: учебное пособие для физических специальностей вузов (Новосибирск: Новосибирский университет [НГУ]).
10. Кузьмин Е. В., Жабрун И. В. Статистическая физика: методические указания для студентов 4-го курса(Красноярск: Красноярский университет [КрасГУ]).
11. 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).
12. 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 Ядерная 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 2007 (или выше)
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. Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.