



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Голик С.С.

(Ф.И.О.)

« 21 » 01 2022 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента

(подпись)

Короченцев В.В.

(Ф.И.О.)

« 01 » 01 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Статистическая физика

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)

**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр 6

лекции 36 час.

практические занятия 36 час

лабораторные работы не предусмотрено

в том числе с использованием МАО лек.     -     / пр.     -     / лаб.     -     час.

всего часов аудиторной нагрузки 72 час.

в том числе с использованием МАО     -     час.

самостоятельная работа 36 час.

в том числе на подготовку к экзамену - час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен

зачет 6 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07 августа 2020 г. №891.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики

\_\_\_\_\_ протокол № 1 от «11» 10 2021     г.

Директор департамента к.х.н., доцент, Короченцев В.В.

Составитель (ли): доцент, к.ф.-м.н., Гой А.А.

Владивосток

2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: изучение основных методов статистической физики, их применение для описания свойств равновесных макроскопических систем и равновесных процессов.

Задачи:

- познакомить студентов с различными методами термодинамического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами классического микроскопического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами квантового микроскопического описания равновесных систем и процессов.

Для успешного изучения дисциплины «статистическая физика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

УК-6 – Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции: ПК-1.1; ПК-1.2.

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные навыки	<b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин.	<b>ПК-1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.
		<b>ПК-1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
<b>ПК -1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.	Знает методики построения физических и математических моделей процессов и явлений в фундаментальной и прикладной физике.
	Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и наноэлектроники
	Владеет навыками построения физических и математических моделей процессов и явлений в фундаментальной и прикладной физике.
<b>ПК -1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике.	Знает методы решения основных типов задач, встречающихся в физике
	Умеет работать с математическим аппаратом эффективных методов решения основных типов задач, встречающихся в физике
	Владеет методами и навыками проведения исследования характеристик для решения поставленной задачи

## 2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 академических часа.

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам).

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1.	Классическая статистика	6	16	-	16	-	16	-	УО-2, ПР-2
2.	Квантовая статистика	6	20	-	20	-	20	-	УО-2, ПР-2
	Итого:		36	-	36	-	36	-	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

## **Лекционные занятия (36 час.)**

### **Раздел I. Классическая статистика (16 часов)**

#### **Тема 1. Механическая модель макроскопического тела (2 часа)**

Механика Лагранжа: обобщенные координаты, функция Лагранжа, уравнения Лагранжа. Механика Гамильтона: канонические переменные, функция Гамильтона, канонические уравнения, фазовое пространство.

#### **Тема 2. Функция статистического распределения (2 часа)**

Определения функции распределения: временное и по ансамблю Гиббса. Эргодическая гипотеза. Средние значения физических величин. Нормировка функции распределения. Теорема Лиувилля и статистическая независимость. Функция распределения и аддитивные интегралы движения.

#### **Тема 3. Микроканоническое распределение Гиббса (2 часа)**

Функция статистического распределения для изолированных систем. Связь нормировочного делителя с термодинамическими переменными. Метод микроканонического распределения Гиббса.

#### **Тема 4. Каноническое распределение Гиббса (4 часа)**

Функция статистического распределения для систем, находящихся в контакте с термостатом. Статистический интеграл, модуль канонического распределения и свободная энергия. Метод канонического распределения Гиббса. Первая лемма Гиббса. Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.

### **Раздел II. Квантовая статистика (20 часов)**

#### **Тема 5. Квантовая модель макроскопического тела (2 часа)**

Волновая функция, уравнение Шредингера, операторы физических величин. Вероятности стационарных состояний, квантовомеханическое среднее и среднее по ансамблю Гиббса.

Матрица плотности: координатное и энергетическое представления. Статистическая матрица, определение средних.

#### **Тема 6. Квантовое каноническое распределение (4 часа)**

Условие нормировки и статистическая сумма. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Метод канонического распределения в квантовой статистике.

Линейный гармонический осциллятор: статистическая сумма, средняя энергия и теплоемкость. Формула Планка, предельный переход к формулам Вина и Релея-Джинса. Калорическое и термическое уравнения состояния.

### **Тема 7. Статистика твердого тела (2 часа)**

Теория теплоемкости твердого тела Эйнштейна. Теория теплоемкости твердого тела Дебая. Калорическое уравнение состояния. Термическое уравнение состояния. Параметр Грюнейзена, соотношение Грюнейзена.

### **Тема 8. Теплоемкость многоатомных газов (проблемная лекция, 4 часа)**

Гамильтониан многоатомного газа, выделение степеней свободы различной природы. Теорема о вкладе степени свободы в теплоемкость. Критическая температура. Поступательные степени свободы. Квантовый ротатор: гамильтониан, энергетические уровни, волновые функции, фактор вырождения. Переход в формулах для энергии и теплоемкости к безразмерным единицам. Вращательные степени свободы. Колебательные степени свободы. Электронные степени свободы. Зависимость теплоемкости многоатомного газа от температуры.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Практические занятия (36 часов)**

#### **Раздел I. Классическая статистика (16 часов)**

##### **Занятие 1. Коллоквиум «Разреженные газы» (2 часа)**

Микроскопическая модель: гамильтониан идеального одноатомного газа. Вычисление статистического интеграла. Свободная энергия, калорическое и термическое уравнения состояния. Парадокс Гиббса. Флуктуации энергии идеального газа.

##### **Занятие 2. Идеальный газ в поле тяжести (2 часа)**

Идеальный газ, состоящий из  $N$  частиц массой  $m$  (подчиняющийся классической статистике), заключен в бесконечно высокий цилиндр, помещенный в однородное гравитационное поле, и находится в состоянии

теплового равновесия. Вычислите статистический интеграл, свободную энергию и теплоемкость системы.

### **Занятие 3. Коллоквиум «Большое каноническое распределение» (2 часа)**

Функция статистического распределения для открытых систем, ее нормировка. Статистический интеграл для большого канонического ансамбля Гиббса и большой термодинамический потенциал.

### **Занятие 4. Коллоквиум «Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы» (4 часа)**

Теплоемкость одноатомного и многоатомного идеального газа. Теплоемкость твердого тела. Простейший пример распределенной системы: статистика струны.

### **Занятие 5. Коллоквиум «Равновесное излучение» (2 часа)**

Равновесное излучение. Уравнения электромагнитного поля. Распределение осцилляторов поля по частотам. Спектральная плотность равновесного излучения. Формула Релея-Джинса.

### **Занятие 6. Одночастичные распределения (2 часа)**

Исходя из канонического распределения Гиббса определите распределение частиц идеального одноатомного газа во внешнем поле по координатам и импульсам (распределение Максвелла-Больцмана). Найдите распределения частиц такой системы по импульсам (распределение Максвелла) и по координатам (распределение Больцмана).

### **Занятие 7. Изобарно-изотермический ансамбль Гиббса (2 часа)**

Рассмотрите ансамбль систем с постоянным числом частиц и заданным давлением, находящийся в контакте с термостатом. Запишите для такого изобарно-изотермического ансамбля функцию статистического распределения и определите статистический интеграл. Выразите через этот статистический интеграл термодинамические свойства системы.

Найдите уравнения состояния идеального газа, находящегося в цилиндре под поршнем.

## **Раздел II. Квантовая статистика (18 часов)**

### **Занятие 8. Коллоквиум «Квантовая механика систем тождественных частиц» (2 часа)**

Многочастичное и одночастичное уравнения Шредингера. Энергетические уровни многочастичной системы. Числа заполнения. Построение волновых функций многочастичных систем бозонов и фермионов. Факторы вырождения.

### **Занятие 9. Коллоквиум «Статистика систем тождественных частиц» (4 часа)**

Распределение Ферми-Дирака при низких температурах. Энергия Ферми. Химический потенциал сильно вырожденного ферми-газа. Теплоемкость металлов.

### **Занятие 10. Влияние ангармоничности на теплоемкость (2 часа)**

Колебания двухатомной молекулы при достаточно больших амплитудах становятся ангармоническими. В этом случае энергетические уровни приближенно описываются выражением

$$\varepsilon_n = h\nu \left(n + \frac{1}{2}\right) - x_1 h\nu \left(n + \frac{1}{2}\right)^2, \quad n=0, 1, 2, \dots,$$

где  $x_1$  – параметр, характеризующий степень ангармоничности. Найти влияние ангармоничности на колебательную теплоемкость с точностью до членов первого порядка по  $x_1$ .

### **Занятие 11. Коллоквиум «Сильно вырожденный ферми-газ» (4 часа)**

Химический потенциал идеального бозе-газа при низких температурах. Конденсация Эйнштейна. Фазовые переходы второго рода.

### **Занятие 12. Коллоквиум «Сильно вырожденный бозе-газ» (2 часа)**

Химический потенциал идеального бозе-газа при низких температурах. Конденсация Эйнштейна. Фазовые переходы второго рода.

### **Занятие 13. Отрицательные абсолютные температуры (2 часа)**

Система состоит из  $N$  слабо взаимодействующих со средой спиновых частиц ( $s_z = \pm 1/2$ ) во внешнем магнитном поле  $H = H_z$ . Какой температуре соответствуют минимальное и максимальное значения энергии системы? Найдите зависимость энтропии системы от энергии и проанализируйте эту зависимость.

#### **Занятие 14. Двухуровневая система (2 часа)**

Система может находиться в двух квантовых состояниях с энергиями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Кратности вырождения состояний  $g_1$  и  $g_2$ . Получить зависимость энтропии от энергии и проанализировать эту зависимость.

#### **Задания для самостоятельной работы**

*Требования:* Перед каждым практическим занятием обучающемуся необходимо изучить соответствующий теоретический материал.

**Самостоятельная работа №1. Подготовка к коллоквиуму «Метод циклов».**

**Самостоятельная работа №2. Подготовка к коллоквиуму «Термодинамика систем с переменным числом частиц».**

**Самостоятельная работа №3. Подготовка к коллоквиуму по сильно неравновесным процессам.**

**Самостоятельная работа №4. Подготовка к коллоквиуму «Разреженные газы».**

**Самостоятельная работа №5. Подготовка к коллоквиуму «Большое каноническое распределение».**

**Самостоятельная работа №6. Подготовка к коллоквиуму «Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы».**

**Самостоятельная работа №7. Подготовка к коллоквиуму «Равновесное излучение».**

**Самостоятельная работа №8. Подготовка к коллоквиуму «Квантовая механика систем тождественных частиц».**

**Самостоятельная работа №9. Подготовка к коллоквиуму «Статистика систем тождественных частиц».**

**Самостоятельная работа №10. Подготовка к коллоквиуму «Сильно вырожденный ферми-газ».**

**Самостоятельная работа №11. Подготовка к коллоквиуму «Сильно вырожденный бозе-газ».**

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-2 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Метод циклов».	3 часа	УО-2
2	3 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Термодинамика систем с переменным числом частиц».	3 часа	УО-2
3	4 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму по сильно неравновесным процессам	4 часа	УО-2
4	5-6 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Разреженные газы».	3 часа	УО-2
5	7-8 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Большое каноническое распределение».	3 часа	УО-2
6	9 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Теоремы о вириале и равномерном распределении кинети-	3 часа	УО-2

		ческой энергии по степеням свободы».		
7	10 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Равновесное излучение».	3 часа	УО-2
8	11-12 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Квантовая механика систем тождественных частиц».	3 часа	УО-2
9	13-14 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Статистика систем тождественных частиц»	4 часа	УО-2
10	15 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Сильно вырожденный ферми-газ».	4 часа	УО-2
11	16 неделя семестра	Подготовка к коллоквиуму «Сильно вырожденный бозе-газ».	3 часа	УО-2
Итого:			36 часов	

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратить внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

*Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в кото-

рых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Тезисы – это основные положения научного труда, статьи или другого произведения, а возможно, и устного выступления; они несут в себе большой объем информации, нежели план. Простые тезисы лаконичны по форме; сложные – помимо главной авторской мысли содержат краткое ее обоснование и доказательства, придающие тезисам более весомый и убедительный характер. Тезисы прочитанного позволяют глубже раскрыть его содержание; обучаясь излагать суть прочитанного в тезисной форме, вы сумеете выделять из множества мыслей авторов самые главные и ценные и делать обобщения.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства (факты, цифры, цитаты).

Писать конспект можно и по мере изучения произведения, например, если прорабатывается монография или несколько журнальных статей.

Составляя тезисы или конспект, всегда делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение или факт, – это поможет вам сократить время на поиск нужного места в книге, если возникает потребность глубже разобраться с излагаемым вопросом или что-то уточнить при написании

письменных работ.

**Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

*Самостоятельная работа №1.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах термодинамики.
2. Знать методы расчетов циклических процессов.

*Самостоятельная работа №2.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах термодинамики.
2. Знать методы расчетов процессов с переменным числом частиц.

*Самостоятельная работа №3.* От обучающегося требуется:

1. Ориентироваться в основных понятиях и законах неравновесной термодинамики.
2. Знать методы расчетов неравновесных процессов.

*Самостоятельная работа №4.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах классической статистической физики.
2. Знать методы расчетов статистических интегралов.

*Самостоятельная работа №5.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах классической статистической физики.
2. Знать методы расчетов статистических интегралов для систем с переменным числом частиц.

*Самостоятельная работа №6.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах классической статистической физики.
2. Знать возможности использования теорем о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.

*Самостоятельная работа №7.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах классической статистической физики и электродинамики.
2. Знать методы расчетов для систем с бесконечным числом степеней свободы.

*Самостоятельная работа №8.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах квантовой механики.
2. Знать методы расчетов энергетических спектров квантовых систем.

*Самостоятельная работа №9.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах квантовой механики систем тождественных частиц.
2. Знать методы расчетов статистических сумм для систем тождественных частиц.

*Самостоятельная работа №10.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах квантовой статистической физики.
2. Знать методы расчетов статистических сумм для систем тождественных частиц.

*Самостоятельная работа №11.* От обучающегося требуется:

1. Свободно ориентироваться в основных понятиях и законах квантовой статистической физики.
2. Знать методы расчетов статистических сумм для систем тождественных частиц.

*Критерии оценки.*

<b>Оценка</b>	<b>Требования</b>
<b>«зачтено»</b>	Студент владеет навыками самостоятельной работы по теме занятия; владеет методами анализа теоретических и/или практических аспектов решаемой задачи. Студент умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы. Решение задачи выполняется при минимальной помощи преподавателя.
<b>«не зачтено»</b>	Студент не владеет навыками самостоятельной работы по теме занятия; не владеет методами анализа теоретических и/или практических аспектов решаемой задачи. Студент не умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы. Решение задачи выполняется только при значительной помощи преподавателя.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
2	Раздел I. Классическая статистика.	<b>ПК-1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.	Знает: основные понятия и законы классической статистической физики.	УО-2, ПР-2	вопросы к экзамену 1-18
			Умеет: использовать основные понятия и законы классической статистической физики для анализа макроскопических систем.	УО-2, ПР-2	
			Владеет: методами применения законов классической статистической физики для анализа макроскопических систем и процессов.	УО-2, ПР-2	
		<b>ПК-1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике.	Знает: законы классической статистической физики и математические методы, применяемые в классической статистической физике.	УО-2, ПР-2	вопросы к экзамену 10-18
			Умеет: применять законы классической статистической физики и математические методы для решения задач классической статистической физики.	УО-2, ПР-2	
			Владеет: методами использования законов классической статистической физики и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера.	УО-2, ПР-2	
3	Раздел II. Квантовая статистика.	<b>ПК-1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.	Знает: основные понятия и законы квантовой статистической физики.	УО-2, ПР-2	вопросы к экзамену 19-29
			Умеет: использовать основные понятия и законы квантовой статистической физики для анализа макроскопических систем.	УО-2, ПР-2	
			Владеет: методами применения законов квантовой статистической физики для анализа макроскопических систем и процессов.	УО-2, ПР-2	
		<b>ПК-1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы	Знает: законы квантовой статистической физики и математические методы,	УО-2, ПР-2	вопросы к экзамену 19-29

	решения основных типов задач, встречающихся в физике.	применяемые в квантовой статистической физике.		
		Умеет: применять законы квантовой статистической физики и математические методы для решения задач квантовой статистической физики.	УО-2, ПР-2	
		Владеет: методами использования законов квантовой статистической физики и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера.	УО-2, ПР-2	

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Квасников И.А. Статистическая физика. Том 1. Теория равновесных систем. Термодинамика. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:400003&theme=FEFU>
2. Квасников И.А. Статистическая физика. Т.2: Теория равновесных систем: Статистическая физика. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.
3. Квасников И.А. Статистическая физика. Том 3. Теория неравновесных систем. ДРОФА, 2014. – 450 с.
4. Квасников И.А. Статистическая физика. Том 4. Квантовая статистика. ДРОФА, 2014. – 352 с.
5. Квасников И.А. Квантовая статистика – Москва : URSS : [Красанд] , 2011. – 569 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:417242&theme=FEFU>
6. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. Физматлит, 2011. – 136 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2672](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2672)
7. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. Лань, 2007. – 448 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=692](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=692)

8. Леонтович М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. Лань, 2008. – 432 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=226](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=226)

9. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории – Издательство: "Физматлит", 2007. – 256 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2209](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2209)

### **Дополнительная литература**

1. Ландау, Л.Д., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Курс теоретической физики, т. 5. Статистическая физика. – М. : Физматлит, 2001. – 610 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2230/>

2. Задачи по термодинамике и статистической физике : пер. с англ. / под ред. П. Ландсберга. Москва : Мир , 1974. – 640 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:116332&theme=FEFU>

3. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика : учебное пособие. – Москва : Наука , 1982. – 608 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:46906&theme=FEFU>

4. Терлецкий Я.П. Статистическая физика : учебное пособие для студентов вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. – Москва : Высшая школа , 1994. – 349 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:41027&theme=FEFU>

5. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учебное пособие для вузов. – Новосибирск : Изд-во Новосибирского университета , 2000. – 608 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:14611&theme=FEFU>

6. Гой А.А. Термодинамика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2006.

<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/53/536/goy15.pdf>

7. Гой А.А. Классическая статистика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2007.

<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/53/536/goy12.pdf>

8. Гой А.А. Квантовая статистическая физика: конспект лекций для студентов специальностей 010400 "Физика", 014100 "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". Электронный ресурс, 2006.  
<http://srv-elib-01.dvfu.ru:8000/cgi-bin/edocget.cgi?ref=/531/goy14.pdf>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://elementy.ru/> – «Элементы большой науки», научно-популярный сайт о последних достижениях науки и техники.

2. <http://www.youtube.com/watch?v=gUrEkPyUDJ0&list=PLNgELESbeMrOVSBa-BPD6hjnc-7LWvjGD> – Статистическая физика. Лекции профессора кафедры статистической физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета Аджемяна Л.Ц.

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Лицензионное и свободное программное обеспечение – MS PowerPoint 2007, MiKTeX и Acrobat Reader XI.

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратите внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические занятия, задания для самостоятельной работы.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

*Практические занятия* акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений и навыков решения задач по термодинамике и статистической физике.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

**Работа с литературой.** Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

**Подготовка к экзамену.** К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все задания (практические, самостоятельные), предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

## VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

### Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Лицензионное и свободное программное обеспечение – MS PowerPoint 2007, MiKTeX и Acrobat Reader XI.
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский,	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-	Лицензионное и свободное программное обеспечение – MS PowerPoint 2007,

полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб.А1017. Аудитория для самостоятель- ной работы	i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной ска- нер в с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	MiKTeX и Acrobat Reader XI.
---	--	-----------------------------

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

**(ДВФУ)**

---

---

**ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине «Статистическая физика»**

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**

**2022**

Для дисциплины «Статистическая физика» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Коллоквиум (УО-2)

Письменные работы:

1. Контрольная работа (ПР-2)

### **Коллоквиум**

Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.

### **Контрольная работа**

Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Статистическая физика» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет и экзамен (7-й, осенний семестр). Экзамен по дисциплине включает ответы на 2 вопроса, зачёт проставляется по результатам практических занятий.

### **Методические указания по сдаче зачета**

Зачет принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять зачет в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачете посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено».

В зачетную книжку студента вносится только запись «зачтено», запись «не зачтено» вносится только в экзаменационную ведомость. При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

### Вопросы к экзамену

1. Основные понятия термодинамики.
2. Первое начало термодинамики.
3. Характеристические функции и дифференциальные соотношения.
4. Метод циклов.
5. Второе начало термодинамики.
6. Неравновесные процессы.
7. Третье начало термодинамики.
8. Термодинамика систем с переменным числом частиц.
9. Термодинамическая теория фазовых переходов.
10. Механическая модель макроскопического тела.
11. Функция статистического распределения.
12. Микрочаноническое распределение Гиббса.
13. Каноническое распределение Гиббса.
14. Идеальный одноатомный газ.
15. Реальный газ.
16. Большое каноническое распределение.
17. Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
18. Равновесное излучение.

19. Квантовая модель макроскопического тела: чистые состояния.
20. Квантовая модель макроскопического тела: смешанные состояния.
21. Квантовое каноническое распределение.
22. Равновесное излучение.
23. Статистика твердого тела.
24. Квантовая механика систем тождественных частиц.
25. Квантовая статистика систем тождественных частиц.
26. Химический потенциал: распределение Больцмана.
27. Слабо вырожденные идеальные бозе- и ферми-газы.
28. Сильно вырожденный ферми-газ.
29. Сильно вырожденный бозе-газ.

### Критерии выставления оценки студенту на зачете

К зачету допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

Оценка	Требования к сформированным компетенциям
<b>«зачтено»</b>	Студент показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Студент обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике. Допускаются некоторые неточности в ответе, которые студент исправляет самостоятельно.
<b>«не зачтено»</b>	Студент обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса, допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке студента, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

### Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине «Статистическая физика»

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
100-85	<i>«отлично»</i>	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, ис-

		черпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
75-84	<i>«хорошо»</i>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-74	<i>«удовлетворительно»</i>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
60 и менее	<i>«неудовлетворительно»</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (собеседования, практических работ) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

## Аннотация дисциплины

### «Статистическая физика»

Рабочая программа учебной дисциплины «Статистическая физика» разработана для студентов 3 курса очной формы обучения направления подготовки 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)» в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е. (108 час.). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 час.), практические работы (36 час.), самостоятельная работа студента (36 час.). Дисциплина «Статистическая физика» входит в вариативную часть образовательной программы, дисциплины по выбору, реализуется на 3 курсе в 6 семестре.

Цель: изучение основных методов статистической физики, их применение для описания свойств равновесных макроскопических систем и равновесных процессов.

Задачи:

- познакомить студентов с различными методами термодинамического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами классического микроскопического описания равновесных и неравновесных состояний и процессов;
- познакомить студентов с методами квантового микроскопического описания равновесных систем и процессов.

Для успешного изучения дисциплины «статистическая физика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

УК-6 – Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции: ПК-1.1; ПК-1.2.

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные навыки	<b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин.	<b>ПК-1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.
		<b>ПК-1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
<b>ПК -1.1</b> Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.	Знает методики построения физических и математических моделей процессов и явлений в фундаментальной и прикладной физике.
	Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и наноэлектроники
	Владеет навыками построения физических и математических моделей процессов и явлений в фундаментальной и прикладной физике.
<b>ПК -1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике.	Знает методы решения основных типов задач, встречающихся в физике
	Умеет работать с математическим аппаратом эффективных методов решения основных типов задач, встречающихся в физике
	Владеет методами и навыками проведения исследования характеристик для решения поставленной задачи