



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)

« 12 » 02 2021 г.

Голик С.С.  
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента

(подпись)

« 12 » 02 2021 г.

Короленцев В.В.  
(Ф.И.О.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Термодинамика и статистическая физика

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

Фундаментальная и прикладная физика

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7

лекции 34 час.

практические занятия 48 час.

лабораторные работы не предусмотрено

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

всего часов аудиторной нагрузки 60 час.

в том числе с использованием МАО - час.

самостоятельная работа 26 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен

зачет 7 семестр

экзамен 7 семестр

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 « 05 » 02 2021 г.

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

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

Владивосток

2021

**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 фундаментальных принципов (начал) термодинамики, 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 «Термодинамика» 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 студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин	ПК-1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп

		ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике
--	--	--

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1 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.
ПК-1.2 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. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы (144 академических часа) в 7 семестре.

(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

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	СР	Контроль	
1	Основы термодинамики	8	17		24	26		ПР-15
2	Классическая и квантовая статистика		17		24			ПР-15
Итого:			34		48	26		

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

**Лекционные занятия (34 час.)**

**Раздел 1. Основы термодинамики (17 час.)**

**Тема 1. Основные понятия термодинамики. Первое начало термодинамики (5 часа)**

Предмет изучения и методы термодинамики и статистической физики. Микроскопическое и макроскопическое описание. Термодинамическая (статистическая) система. Термодинамический контакт. Термодинамическое состояние (равновесие). Причина возникновения процессов в системе. Внутренняя энергия. Внутренняя энергия как однозначная функция состояния термодинамической системы. Количества воздействия, термодинамические координаты и термодинамические силы. Различные формулировки первого начала термодинамики. Полные дифференциалы и величины, зависящие от процесса.

**Тема 2. Характеристические функции и дифференциальные соотношения (5 час.)**

Калорическое и термические уравнения состояния. Внутренняя энергия как характеристическая функция термодинамической системы. Другие характеристические функции термодинамической системы: свободная энергия, энтальпия и термодинамический потенциал. Дифференциальные соотношения термодинамики и их смысл.

### **Тема 3. Второе начало термодинамики (3 часа)**

Обратимые и необратимые процессы. Принципы Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Теорема Карно-Клаузиуса. Энтропия как функция состояния. Интеграл Клаузиуса.

Равновесные и неравновесные процессы. Неравновесный теплообмен. Интеграл Клаузиуса для необратимых циклов. Объединение первого и второго начал для равновесных и неравновесных процессов.

### **Тема 4. Третье начало термодинамики (4 часа)**

Тепловая теорема Нернста. Постулат Планка. Поведение термодинамических величин при стремлении температуры к абсолютному нулю. Недостижимость абсолютного нуля температуры.

## **Раздел 2. Классическая и квантовая статистика (15 час.)**

### **Тема 5. 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 6. 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 7. Микроканоническое распределение Гиббса (2 часа)**

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

### **Тема 8. Каноническое распределение Гиббса (2 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.

### **Тема 9. 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 10. Квантовое каноническое распределение (2 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 11. 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 12. Теплоемкость многоатомных газов (1 час)**

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.

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

### **Практические занятия (30 час.)**

### **Занятие 1. Коллоквиум «Метод циклов» (2 часа)**

Циклические процессы. Прямой цикл Карно для идеального газа. Обратный цикл Карно. Тепловой двигатель, холодильник, тепловой насос. Приведенные теплоты.

### **Занятие 2. Коллоквиум «Термодинамика систем с переменным числом частиц» (2 часа)**

Химический потенциал. Зависимость термодинамических функций от числа частиц. Большой термодинамический потенциал.

Гетерогенные системы. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Классификация фазовых переходов.

Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.

### **Занятие 3. Термодинамическая теория теплоёмкости однородных систем (2 часа)**

Используя первое начало термодинамики и дифференциальные соотношения, получить выражение для теплоемкости системы в произвольном процессе и исследовать его.

### **Занятие 4. Нахождение характеристических функций системы (2 часа)**

Пусть для идеального газа известно калорическое уравнение состояния в форме зависимости теплоемкости при постоянном объеме от температуры и числа частиц

$$C_v = N f(T),$$

где  $f(T)$  - известная функция температуры.

Найти свободную энергию  $F$ , внутреннюю энергию  $U$  и энтропию  $S$ .

### **Занятие 5. Коллоквиум по сильно неравновесным процессам (2 часа)**

Проблемы описания нашего Мира в целом. Неустойчивости в простых динамических системах. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа-Пригожина. Диссипативные структуры. Ячейки Бенара. Синергетика.

### **Занятие 6. 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 7. 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 8. 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 9. Коллоквиум «Теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы» (2 часа)**

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

### **Занятие 10. Коллоквиум «Равновесное излучение» (2 часа)**

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

### **Занятие 11. 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 12. 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.

## **Занятие 13. 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 14. Коллоквиум «Статистика систем тождественных частиц» (2 часа)**

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

## **Занятие 15. 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  $x_1$ .

### **Задания для самостоятельной работы (12 час.)**

*Требования:* после каждого практического занятия обучающемуся необходимо обработать полученные результаты, построить графики зависимостей измеряемых величин, рассчитать требуемые величины и построить рассчитанные графики, объяснить их поведение и сделать правильные выводы.

## Домашние задания к практическим работам

### Домашнее задание 1. Сильно вырожденный ферми-газ (12 час.)

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

### Домашнее задание 2. Сильно вырожденный бозе-газ (12 час.)

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

### Домашнее задание 3. Отрицательные абсолютные температуры (12 час.)

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.

### Домашнее задание 4. Двухуровневая система (12 час.)

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.

## 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

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы	Форма контроля
-------	-----------------------	----------------------------	-----------------	----------------

			<b>времени на выполнение</b>	
1	1-4 неделя семестра	Домашняя работа 1	12 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
2	5-9 неделя семестра	Домашняя работа 2	12 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
3	10-14 неделя семестра	Домашняя работа 3	12 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
4	14-18 неделя семестра	Домашняя работа 4	12 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
Итого:			48 час.	

### **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.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

#### *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.

### *Работа с конспектом лекций*

В конспекте лекций необходимо кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Нужно проверять термины, понятия с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практических работах.

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

#### **Работа перед практическими занятиями**

Перед практическим занятием студент должен самостоятельно изучить методические указания по его выполнению, ознакомиться с содержанием работы, прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет, обрабатывает полученные данные и пишет отчет по практическому занятию. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме. Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

#### *Структура отчета по практическому занятию*

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождаемая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- ✓ *Титульный лист* – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме

(титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);

- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

#### *Оформление отчета по лабораторной работе*

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);

- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### *Набор текста*

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);

✓ интервал межстрочный – полуторный;

✓ шрифт – TimesNewRoman;

✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);

✓ выравнивание текста – «по ширине»;

✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;

✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

### *Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экранов в виде «скриншотов»*

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации

объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

### Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Выполнение самостоятельных работ оценивается при сдаче и защите отчетов по лабораторным работам. Критерии оценки индикаторов выполнения самостоятельной работы по курсу приведены в разделе VIII.

## 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
1	Раздел I. Основы термодинамики	ПК-1.1 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.	ПР-15 (рабочая тетрадь)	экзамен (вопросы 1-14)
			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.		
		ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач,	Знает методы решения основных типов задач, встречающихся в физике		



		встречающихся в физике	<p>Умеет работать с математическим аппаратом эффективных методов решения основных типов задач, встречающихся в физике</p> <p>Владеет методами и навыками проведения исследования характеристик для решения поставленной задачи</p>		
2	Раздел II. Классическая и квантовая статистика	ПК-1.1 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.	ПР-15 (рабочая тетрадь)	экзамен (вопросы 15-29)
Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и нанoeлектроники					
Владеет навыками построения физических и математических моделей процессов и явлений в фундаментальной и прикладной физике.					
Знает методы решения основных типов задач, встречающихся в физике					
		ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные 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		

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**

*(электронные и печатные издания)*

1. Квасников И.А. Термодинамика и 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. Термодинамика и статистическая физика. Т.2: Теория равновесных систем: Статистическая физика. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.

3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3. Теория неравновесных систем. ДРОФА, 2014. – 450 с.

4. Квасников И.А. Термодинамика и 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=PLNgELESbeMrOVSVa-BPD6hjnC-7LWvjGD> – Статистическая физика. Лекции профессора кафедры статистической физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета Аджемьяна Л.Ц.

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

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются программы, позволяющие строить графики по массивам данных и выполнять простейший математический анализ данных (первые производные, сглаживание, линейный фитинг).

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

## **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. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные 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, лабораторные 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. Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний. При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;

- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники.

В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

*Практические занятия* акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений. Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

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.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

**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 домашние задания, предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

## 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, ауд. L 441. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 15) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 ССВА – 1 шт. Доска аудиторная.	Специализированное ПО не требуется
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 320. Лаборатория пленочных технологий ДВФУ	Вибрационный магнитометр Lakeshore 7400, оптический магнитометр Nanomoke2, Керр-микроскоп Evico Magnetics	ПО, позволяющее выполнять лабораторные работы на лабораторных установках, Origin – программное обеспечение для построения графиков, Gwyddion – свободно распространяемое программное обеспечение для обработки графических изображений
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	Специализированное ПО не требуется

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступны лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

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**

Для дисциплины «Термодинамика» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

Домашняя работа (ПР-15) защита отчета

Письменные работы

Домашняя работа (ПР-15) написание отчета

**Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, понимание материала, самостоятельность выполнения домашних задач, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к экзамену.

**Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Лабораторные работы позволяют студентам непосредственно ознакомиться с научным экспериментальным оборудованием, научиться получать экспериментальные результаты, обрабатывать их, анализировать результаты и делать выводы.

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

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

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Квантовая теория поля» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – экзамен (7-й семестр). Форма экзамена – сдача отчетов по домашним работам. Форма экзамена – два письменных вопроса, на которые студенту дается 40 мин, затем 2 произвольных устных вопроса. Допуск к экзамену

возможен только после сдачи всех отчетов по домашним работам.

### **Методические указания по сдаче экзамена**

Экзамен 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 практические занятия по дисциплине в группах.

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

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

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

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

Присутствие на экзамене 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 экзамен с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено», «не зачтено». При неявке студента на экзамен 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. Микроканоническое 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 экзамене**

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

<b>Оценка</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
<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.

## **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 по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (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;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

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

### **Устный опрос в сочетании с проверкой отчета по работе**

Оценивание защиты домашней работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

*Пример контрольных вопросов к домашним работам:*

1. Сформулируйте первое начало термодинамики
2. Запишите вывод теоремы о вириале и равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
3. Запишите квантовое каноническое распределение.

## Аннотация дисциплины «Термодинамика и статистическая физика»

Цель: изучение фундаментальных принципов (начал) термодинамики, 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 «Термодинамика и 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 студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-1                      Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин	ПК-1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп

		ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике
--	--	--

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1 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.
ПК-1.2 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