

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**

Термодинамика и статистическая физика Б3.Б.2.4

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Радиофизические методы по областям применения (Радиофизические измерения)

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Деминов Р.Г.

**Рецензент(ы):**

Прошин Ю.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 65914

Казань

2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Деминов Р.Г. Кафедра теоретической физики Отделение физики, Raphael.Deminov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Термодинамика и статистическая физика" являются изучение основных понятий, законов и моделей термодинамики и статистической физики

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.2 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Дисциплина входит в базовую часть профессионального цикла (Б.3). Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, классическая и квантовая механика, электродинамика. Освоение дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности, позволит в дальнейшем изучать курсы общенаучного и профессионального циклов основной образовательной программы магистратуры

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-14 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области информатики и современных информационных технологий, программными средствами и навыками работы в компьютерных сетях, использованию баз данных и ресурсов Интернет
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

теоретические основы термодинамики и статистической физики; иметь представление о современном состоянии в указанном разделе теоретической физики

2. должен уметь:

формулировать и доказывать основные результаты термодинамики и статистической физики

3. должен владеть:

навыками вычисления (в простых задачах) макроскопических характеристик системы

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение	7	1	1	0	0	устный опрос
2.	Тема 2. Основные принципы статистической физики.	7	2-4	5	2	0	домашнее задание
3.	Тема 3. Общие методы статистической механики.	7	4-7	4	4	0	контрольная работа
4.	Тема 4. Термодинамические величины и термодинамические соотношения.	7	7-9	6	4	0	домашнее задание
5.	Тема 5. Идеальные газы.	7	10-11	2	2	0	домашнее задание
6.	Тема 6. Классический идеальный газ.	7	11-12	4	2	0	контрольная работа
7.	Тема 7. Квантовый идеальный газ.	7	13-15	4	2	0	домашнее задание
8.	Тема 8. Неидеальные газы.	7	15-16	2	2	0	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
9.	Тема 9. Равновесие фаз и фазовые переходы.	7	16-17	4	2	0	домашнее задание
10.	Тема 10. Неравновесные процессы и методы физической кинетики.	7	17-18	4	4	0	домашнее задание
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	экзамен
	Итого			36	24	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение

#### **лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Объекты исследования, задачи и методы термодинамики, статистической физики и физической кинетики.

### Тема 2. Основные принципы статистической физики.

#### **лекционное занятие (5 часа(ов)):**

Фазовое пространство. Микросостояние. Средние значения и флуктуации.

Термодинамическое равновесие. Макропараметры, макросостояние. Метод ансамблей.

Функция статистического распределения. Матрица плотности. Классическое и квантовое уравнения Лиувилля. Теорема Лиувилля.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

### Тема 3. Общие методы статистической механики.

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Внутренние и внешние параметры. Свойства энтропии. Обратимые и необратимые процессы. Температура.

Каноническое распределение. Статистический интеграл и статистическая сумма. Большое каноническое распределение. Химический потенциал, большая статистическая сумма.

Эквивалентность равновесных ансамблей.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

### Тема 4. Термодинамические величины и термодинамические соотношения.

#### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Адиабатический процесс. Обобщенные термодинамические силы, теплоизолированная система. Первое начало термодинамики. Работа и количество тепла. Теплоемкость.

Термодинамические потенциалы и их свойства. Соотношения взаимности Максвелла. Связь статистической суммы и большой статистической суммы с термодинамическими потенциалами.

Условия равновесия системы. Термодинамические неравенства. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ . Второе начало термодинамики. Цикл Карно, теоремы Карно. Неравенство Клаузиуса.

Постулаты Клаузиуса и Томсона, их эквивалентность. Третье начало термодинамики, принцип Нернста.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

### Тема 5. Идеальные газы.

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Принцип неразличимости тождественных частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Калорическое уравнение состояния идеальных газов.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**Тема 6. Классический идеальный газ.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Распределение Максвелла-Больцмана. Химический потенциал классического идеального газа. Критерии применимости классического приближения и вырождения. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Термо-динамические потенциалы идеального газа. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**Тема 7. Квантовый идеальный газ.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Черное излучение, формула Планка, энергия и давление равновесного фотонного газа. Бозе-эйнштейновская конденсация. Вырожденный электронный газ в металле. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металле.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**Тема 8. Неидеальные газы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Взаимодействие между молекулами в системе. Уравнение состояния слабо неидеального газа. Вириальное разложение. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**Тема 9. Равновесие фаз и фазовые переходы.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Фазы и компоненты. Условия равновесия двух фаз. Кривые равновесия фаз. Равновесие трех фаз. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Метастабильные состояния. Теория флуктуаций. Флуктуации в однородной замкнутой системе. Принцип Больцмана. Флуктуации в системе, помещенной в термостат. Флуктуации температуры и плотности частиц.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**Тема 10. Неравновесные процессы и методы физической кинетики.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Уравнение Маркова-Смолуховского, принцип детального равновесия. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка, соотношение Эйнштейна. Стадии эволюции неравновесной системы. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. H - теорема Больцмана.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач по указанному разделу.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение	7	1	подготовка к устному опросу	1	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Основные принципы статистической физики.	7	2-4	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
3.	Тема 3. Общие методы статистической механики.	7	4-7	подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
4.	Тема 4. Термодинамические величины и термодинамические соотношения.	7	7-9	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
5.	Тема 5. Идеальные газы.	7	10-11	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
6.	Тема 6. Классический идеальный газ.	7	11-12	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
7.	Тема 7. Квантовый идеальный газ.	7	13-15	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
8.	Тема 8. Неидеальные газы.	7	15-16	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
9.	Тема 9. Равновесие фаз и фазовые переходы.	7	16-17	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
10.	Тема 10. Неравновесные процессы и методы физической кинетики.	7	17-18	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
	Итого				48	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курсы лекций и практических занятий, организованные по стандартной технологии

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Введение

устный опрос , примерные вопросы:

Элементы теории вероятностей. Избранные разделы классической и квантовой механики. Глава 1 и задачи 1.9, 1.12, 1.13 из [3].

### Тема 2. Основные принципы статистической физики.

домашнее задание , примерные вопросы:



Простейшие модельные системы: система невзаимодействующих между собой гармонических осцилляторов с одной и той же частотой. Глава 2 и задачи 2.4, 2.5 из [3].  
Простейшие модельные системы: система невзаимодействующих между собой гармонических осцилляторов с одной и той же частотой. Глава 2 и задачи 2.4, 2.5 из [3].

### **Тема 3. Общие методы статистической механики.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Для системы  $N$  невзаимодействующих частиц, имеющих два энергетических уровня  $E_0=0$  и  $E_1=E$  с кратностями вырождения  $g_0$  и  $g_1$  соответственно, найти среднюю энергию. Ответ:  $\langle E \rangle = NEg_1 / (g_0 \exp(E/T) + g_1)$ .

### **Тема 4. Термодинамические величины и термодинамические соотношения.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Термодинамика. Глава 3 и задачи 3.7, 3.8, 3.9, 3.11 из [3]. Термодинамика. Глава 3 и задачи 3.12, 3.13, 3.15, 3.20 из [3].

### **Тема 5. Идеальные газы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Идеальный газ. Глава 4 и задачи 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 из [3].

### **Тема 6. Классический идеальный газ.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Вычислить теплоемкость  $CV$  классического идеального газа из  $N$  частиц массы  $m$  в поле силы тяжести. Ответ:  $CV=5N/2$ .

### **Тема 7. Квантовый идеальный газ.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Квантовый идеальный газ. Глава 4 и задачи 4.25, 4.28, 4.29, 4.36 из [3].

### **Тема 8. Неидеальные газы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Неидеальные газы. Глава 5 и задачи 5.1, 5.2, 5.3, 5.7 из [3].

### **Тема 9. Равновесие фаз и фазовые переходы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Равновесие фаз и фазовые переходы. Глава 6 и задачи 6.1, 6.2, 6.3, 6.10, 6.11 из [3].

### **Тема 10. Неравновесные процессы и методы физической кинетики.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Теория флуктуаций. Глава 7 и задачи 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 из [3].

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Экзамены в соответствии с приведенной выше программой; контрольные работы, формируемые на основе задачник:

1. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, М.: Физматлит, 2007.

3. Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика (конспекты лекций и задачи для студентов физического факультета), Казань, изд. КГУ, 2008.

Указанные задачки используется также для самостоятельной работы студентов.

### **БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНАМ**

1. Средние значения и флуктуации.
2. Метод ансамблей.
3. Функция статистического распределения. Матрица плотности.
4. Уравнение движения для матрицы плотности. Теорема Лиувилля.
5. Микроканоническое распределение.
6. Энтропия. Закон неубывания энтропии.

7. Температура.
8. Каноническое распределение.
9. Большое каноническое распределение.
10. Адиабатический процесс.
11. Первое начало термодинамики.
12. Термодинамические функции.
13. Зависимость термодинамических функций от числа частиц.
14. Условия равновесия системы. Поведение термодинамических функций в равновесных и неравновесных процессах.
15. Термодинамические неравенства.
16. Связь между теплоемкостями.
17. Второе начало термодинамики.
18. Третье начало термодинамики (теорема Нернста).
19. Термодинамический смысл параметров канонического и большого канонического распределений.
20. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
21. Уравнение состояния идеальных газов.
22. Распределение Максвелла-Больцмана.
23. Давление идеального газа.
24. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.
25. Термодинамические функции идеального газа.
26. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью.
27. Черное излучение.
28. Бозе-эйнштейновская конденсация.
29. Полностью вырожденный электронный газ в металле.
30. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металле.
31. Взаимодействие между молекулами.
32. Уравнение состояния слабо неидеального газа.
33. Условия равновесия фаз.
34. Равновесие трех фаз.
35. Флуктуации в замкнутой системе.
36. Флуктуации в системе, помещенной в термостат.
37. Уравнение Маркова-Смолуховского.
38. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка.
39. Стадии эволюции неравновесной системы.
40. Кинетическое уравнение Больцмана.

### 7.1. Основная литература:

Теоретическая физика, Т. 9. Статистическая физика, Лифшиц, Евгений Михайлович; Питаевский, Лев Петрович, 2004г.

Термодинамика и статистическая физика, Аминов, Линар Кашифович, 2008г.

1. Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи: Учебное пособие. Для студентов физического факультета, 2008, Казань: КГУ.

[http://www.kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics\\_and\\_statistical\\_physics.pdf](http://www.kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics_and_statistical_physics.pdf)

2. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, 2007, М.: Физматлит. <http://e.lanbook.com/view/book/2209/>

## 7.2. Дополнительная литература:

Неравновесная статистическая механика, Пригожин, Илья Романович, 2005г.

Статистическая механика, Церковников, Юрий Александрович; Рудой, Ю. Г., 2010г.

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики, 2007, СПб.: Лань.

<http://e.lanbook.com/view/book/692/>

## 7.3. Интернет-ресурсы:

Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи. - [http://kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics\\_and\\_statistical\\_physics.pdf](http://kpfu.ru/docs/F2096324044/Thermodynamics_and_statistical_physics.pdf)

Каталог образовательных интернет-ресурсов на сайте - <http://www.edu.ru/>

Кафедра квантовой статистики и теории поля МГУ. Библиотека - <http://statphys.nm.ru/biblioteka.html>

Научная библиотека на сайте - <http://www.poiskknig.ru/>

Научная энциклопедия на сайте - [http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая\\_физика](http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая_физика)

Научная энциклопедия на сайте - <http://elementy.ru/physics>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Термодинамика и статистическая физика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "КнигаФонд", доступ к которой предоставлен студентам. Электронно-библиотечная система "КнигаФонд" реализует легальное хранение, распространение и защиту цифрового контента учебно-методической литературы для вузов с условием обязательного соблюдения авторских и смежных прав. КнигаФонд обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям новых ФГОС ВПО.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Радиофизические методы по областям применения (Радиофизические измерения) .

Автор(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.