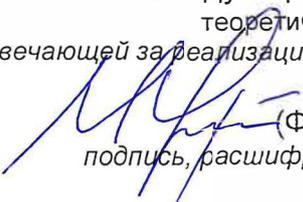


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

..2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.О.29 – Термодинамика и статистическая физика

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.03 – Радиофизика

2. Профиль подготовки/специализация: "Радиофизика и электроника"

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 – теоретической физики

6. Составители программы Крыловецкая Татьяна Алексеевна  
ФИО

к.ф.-м.н.

ученая степень

ученое звание

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 17.06.2022 г. протокол № 6  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2025 - 2026

Семестр(ы)/Триместр(ы): 7

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** Цель дисциплины – изучение фундаментальных принципов (начал) термодинамики и их применение для описания свойств макроскопических систем, равновесных и неравновесных систем, фазовых переходов первого и второго рода, критических состояний вещества, основных статистических закономерностей и их применение для описания свойств макроскопических равновесных и неравновесных систем. Формирование у обучающихся глубокого понимания различных подходов к описанию макроскопических систем, четкого представления о границах применимости классической теории, владение методами термодинамики, классической и квантовой статистической физики, как в случае равновесных, так и неравновесных систем.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к обязательной части. Студент должен обладать знаниями по дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Атомная физика», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Теория вероятностей и математическая статистика», владеть основными математическими приемами и методами.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способность применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.2	Умение оценивать границы применимости и использовать математические модели, необходимые для решения типовых профессиональных задач	знать: формулировки физических законов термодинамики и статистической физики, и выражающие их математические уравнения; уметь: понимать суть физических законов и применять их при рассмотрении физических явлений; владеть: навыками на основе имеющихся знаний качественно и количественно описывать изученные физические явления и процессы
		ОПК-1.3	Владение знаниями фундаментальных разделов физики и умение применять их в профессиональной деятельности	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.** (в соответствии с учебным планом) — 4 / 144.

**Форма промежуточной аттестации**(зачет/экзамен) экзамен

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			7	...
Аудиторные занятия		84	84	
в том числе:	Лекции	34	34	
	практические	50	50	
	лабораторные			
Самостоятельная работа		24	24	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – _ час.)		Экзамен – 36	Экзамен – 36	
Итого:		144	144	

#### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение	Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем. Макроскопическое и микроскопическое описание физических систем.	-
1.2	Основные понятия и законы термодинамики	Термодинамические системы. Термодинамические процессы. Постулаты термодинамики.	-
1.3	Методы термодинамики	Методы термодинамики: метод циклов, метод термодинамических потенциалов. Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Термодинамические неравенства.	-
1.4	Основные представления статистической физики	Механическое и статистическое описание макросистем. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Эргодическая гипотеза.	-
1.5	Классическая статистическая физика равновесных систем. Приложения термодинамики	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Свойства параметров канонического распределения. Связь энтропии с вероятностью. Вероятностный смысл второго начала термодинамики. Функция распределения для энергии. Связь канонического и микроканонического распределений. Идеальный изотермический газ. Парадокс Гиббса. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Классическая теория теплоемкости твердого тела. Одночастичные распределения. Распределение Максвелла-Больцмана для идеального газа. Реальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Плазма. Самосогласованное поле и корреляционная энергия плазмы. Термодинамика и статистическая физика систем с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Магнитное охлаждение. Магнито-калорический эффект.	-

1.6	Квантовая статистическая физика	Смешанные состояния квантовых систем и статистический оператор. Квантовое каноническое распределение. Квантовые распределения для идеальных газов. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Условие вырождения идеальных газов. Уравнение состояния квантовых газов. Слабое вырождение бозе- и ферми-газов. Сильновырожденный бозе-газ. Бозе-конденсация. Применение статистики Бозе-Эйнштейна к тепловому равновесному излучению. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость металлов. Постулат Нернста как следствие квантовой статистики. Квантовая теория теплоемкости твердых тел. Теория теплоемкостей двухатомных газов.	-
1.7	Теория флуктуаций	Флуктуации основных термодинамических величин. Распределение вероятности флуктуаций. Использование метода корреляционных функций. Формула Найквиста.	-
1.8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов	Основы теории неравновесных процессов. Исходные положения неравновесной термодинамики. Термодинамика линейных и нелинейных необратимых процессов. Элементы физической кинетики. Прямые и обратные столкновения. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Кинетическое уравнение с релаксационным членом. Практическое применение уравнения для расчета коэффициентов теплопроводности и электропроводности идеальных газов. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера-Планка. Теория броуновского движения	-
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Введение	Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем. Макроскопическое и микроскопическое описание физических систем.	-
2.2	Основные понятия и законы термодинамики	Термодинамические системы. Термодинамические процессы. Постулаты термодинамики.	-
2.3	Методы термодинамики	Методы термодинамики: метод циклов, метод термодинамических потенциалов. Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Термодинамические неравенства.	-
2.4	Основные представления статистической физики	Механическое и статистическое описание макросистем. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Эргодическая гипотеза.	-
2.5	Классическая статистическая физика равновесных систем. Приложения термодинамики	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Свойства параметров канонического распределения. Связь энтропии с вероятностью. Вероятностный смысл второго начала термодинамики. Функция распределения для энергии. Связь канонического и микроканонического распределений. Идеальный изотермический газ. Парадокс Гиббса. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Классическая теория теплоемкости твердого тела. Одночастичные распределения. Распределение Максвелла-Больцмана для идеального газа. Реальный газ. Уравнение Ван-	-

		дер-Ваальса. Плазма. Самосогласованное поле и корреляционная энергия плазмы. Термодинамика и статистическая физика систем с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Магнитное охлаждение. Магнито-калорический эффект.	
2.6	Квантовая статистическая физика	Смешанные состояния квантовых систем и статистический оператор. Квантовое каноническое распределение. Квантовые распределения для идеальных газов. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Условие вырождения идеальных газов. Уравнение состояния квантовых газов. Слабое вырождение бозе- и ферми-газов. Сильновырожденный бозе-газ. Бозе-конденсация. Применение статистики Бозе-Эйнштейна к тепловому равновесному излучению. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость металлов. Постулат Нернста как следствие квантовой статистики. Квантовая теория теплоемкости твердых тел. Теория теплоемкостей двухатомных газов.	-
2.7	Теория флуктуаций	Флуктуации основных термодинамических величин. Распределение вероятности флуктуаций. Использование метода корреляционных функций. Формула Найквиста.	--
2.8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов	Основы теории неравновесных процессов. Исходные положения неравновесной термодинамики. Термодинамика линейных и нелинейных необратимых процессов. Элементы физической кинетики. Прямые и обратные столкновения. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема Больцмана. Кинетическое уравнение с релаксационным членом. Практическое применение уравнения для расчета коэффициентов теплопроводности и электропроводности идеальных газов. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера-Планка. Теория броуновского движения	-

\* заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейки ставятся прочерки.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	2	2		1	5
2	Основные понятия и законы термодинамики	4	6		3	13
3	Методы термодинамики	5	8		3	16
4	Основные представления статистической физики	5	8		3	16
5	Классическая статистическая физика равновесных систем.	5	8		5	18

	Приложения термодинамики				
6	Квантовая статистическая физика.	5	8	3	16
7	Теория флуктуаций.	5	5	3	13
8	Основы термодинамики и кинетики неравновесных процессов.	3	5	3	11
	Итого:	34	50	24	108

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к практическому занятию, разбирая соответствующий теоретический материал, систематически выполнять домашние задания, не пропускать текущие тестирования по пройденному теоретическому и практическому материалу.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2007. — 448 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=692">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=692</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика : / М. А. Леонтович .— Москва : Лань, 2008 .— 419 с. : портр., ил. ; 22 см .— (Учебники для вузов. Специальная литература) (Классическая учебная литература по физике) // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=226">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=226</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
3	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6111">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6111</a>
4	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a>
5	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
6	Электронно-библиотечная система "Лань": <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Ефремов, Ю. С. <i>Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие</i> / Ю. С. Ефремов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 208 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=428682">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=428682</a> (дата обращения: 24.08.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-4620-5. – DOI 10.23681/428682.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, дисплейный класс.

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1.1 – 1.8, 2.1 – 2.8	ОПК - 1	ОПК – 1.2 ОПК – 1.3	Контрольная работа 1, контрольная работа 2
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов к экзамену

**20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

**20.1. Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольная работа 1,2

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

### Примерные задания для контрольной работы 1

1. Найти связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$  для идеального газа.
2. Для изотермической системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов, помещенной в однородное электрическое поле напряженности  $E$ , рассчитать свободную энергию (частоты и заряды осцилляторов одинаковы и равны  $w$  и  $e$  соответственно).
3. Найти работу идеального газа при изотермическом расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .
4. Найти внутреннюю энергию столба идеального газа высотой  $h$  и площадью  $S$ , находящегося в поле тяжести при температуре  $T$ .
5. Считая известным уравнение Ван-дер-Ваальса  $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ , где  $a$  и  $b$  — постоянные, найти внутреннюю энергию  $E$ .
6. Найти энтропию изолированного одноатомного идеального газа из  $N$  молекул, заключенного в объеме  $V$ .
7. Найти КПД цикла, состоящего из изобары, изохоры и изотермы, считая известными температуру изотермического процесса  $T_1$  и максимальную температуру цикла  $T_2$ .
8. Найти энтропию одноатомного идеального газа из  $N$  молекул, заключенного в объеме  $V$  и имеющего постоянную температуру  $T$ .
9. Получить уравнение адиабаты газа, описываемого уравнением Менделеева-Клапейрона.
10. Вычислить свободную энергию изотермической системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов (частоты осцилляторов одинаковы и равны  $w$ ).
11. Цикл состоит из двух изохор и двух изобар. Показать, что для любого вещества с постоянными теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$  температуры  $T_1, T_2, T_3, T_4$  связаны соотношением:  

$$T_1 T_3 = T_2 T_4.$$
12. Найти энтропию для изолированной системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов (частоты осцилляторов одинаковы и равны  $w$ ).
13. Найти связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$  для идеального газа.
14. Для изотермической системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов, помещенной в однородное электрическое поле напряженности  $E$ , рассчитать свободную энергию (частоты и заряды осцилляторов одинаковы и равны  $w$  и  $e$  соответственно).
15. Считая известным уравнение Дитеричи для одного моля газа:  $(P + a_1/V^{5/3})(V - a_2) = RT$ ,  $\frac{\partial C_v}{\partial T} = 0$ , найти энтропию.
16. Найти энтропию изолированного одноатомного идеального газа из  $N$  молекул, заключенного в объеме  $V$ .
17. Считая известным уравнение Ван-дер-Ваальса  $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ , где  $a$  и  $b$  — постоянные, найти энтропию газа.

18. Найти величину статистического веса для системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов, помещенной в однородное электрическое поле напряженности  $E$  (частоты и заряды осцилляторов одинаковы и равны  $\omega$  и  $e$  соответственно).
19. Считая известным уравнение Ван-дер-Ваальса  $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ , где  $a$  и  $b$  — постоянные, найти уравнение адиабаты.
20. Найти внутреннюю энергию идеального газа, состоящего из  $N$  частиц, подчиняющихся классической статистике. Считать, что газ находится при постоянной температуре  $T$  и энергия частицы пропорциональна импульсу  $H_i = cp_i$ .
21. Найти связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$  для идеального газа.
22. Для изотермической системы  $N$  невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов, помещенной в однородное электрическое поле напряженности  $E$ , рассчитать свободную энергию (частоты и заряды осцилляторов одинаковы и равны  $\omega$  и  $e$  соответственно).

### Примерные задания для контрольной работы №2

1. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при адиабатном расширении?
2. При изотермическом сжатии идеального газа внешними силами совершена работа  $A$  над газом. Чему равно количество теплоты  $Q$ , полученное газом в этом процессе, и изменение внутренней энергии газа?
3. Получает или отдает теплоту газ, если при уменьшении его внутренней энергии на 100 Дж над ним совершили работу 300 Дж? Чему равно это количество теплоты?
4. Дайте геометрическое толкование количества теплоты, подтвердив его законами термодинамики.
5. За один цикл идеальный газ получил от нагревателя количество теплоты  $Q_1$ , отдал холодильнику количество теплоты  $Q_2$ , совершил работу  $A$  и возвратился в исходное состояние. Чему равно изменение внутренней энергии газа в результате этих процессов?
6. В каком процессе объем газа линейно увеличивается с ростом температуры?
7. Напишите квантовое распределение Гиббса и условие нормировки для него.
8. Как найти энтропию изотермической системы с постоянным числом частиц?
9. Какое из фазовых распределений описывает изотермическую систему с переменным числом частиц? Поясните смысл обозначений.
10. Напишите выражение для функции Гамильтона находящегося во внешнем поле идеального одноатомного газа, состоящего из  $N$  частиц.
11. Объясните смысл множителя  $1/(2\pi\hbar)^{Nf}$  в выражении для фазового объема.
12. Дайте определение относительной флуктуации.
13. Сформулируйте теорему Лиувилля.
14. Напишите условие нормировки большого канонического распределения.

15. Что является основной расчетной характеристикой адиабатически изолированной системы и почему?

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценка «отлично»: *Подробные и безошибочные решения всех задач, допускаются незначительные вычислительные неточности.*

Оценка «хорошо»: *Подробные решения всех задач, выбор правильного хода решения для всех задач, допускаются вычислительные неточности, а также неполное выполнение отдельных заданий.*

Оценка «удовлетворительно»: *решение отдельных задач, допускаются незначительные неточности в выборе метода и хода решения задачи.*

Оценка «неудовлетворительно» *отсутствие правильно решенных задач, использование ошибочных методов и приемов для решения поставленных задач.*

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Список вопросов к экзамену

1. Основные постулаты термодинамики.
2. Методы термодинамики. Термодинамические потенциалы.
3. Условия равновесия и устойчивости системы. Термодинамические неравенства.
4. Механическое описание системы. Фазовое пространство и его элементы.
5. Статистическое описание системы. Функция распределения и её свойства.
6. Теорема Лиувилля и её следствия. Эргодическая гипотеза.
7. Микроканоническое распределение. Геометрический смысл статистического веса.
8. Вывод основного термодинамического тождества из микроканонического распределения.
9. Каноническое распределение Гиббса.
10. Свойства параметров канонического распределения.
11. Энтропия и её связь с вероятностью. Статистический смысл второго начала термодинамики.
12. Идеальный газ. Парадокс Гиббса.
13. Реальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
14. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии.
15. Теорема о вириале.
16. Классическая теория теплоемкости твердых тел.
17. Распределение Максвелла по проекциям и абсолютным значениям скорости.
18. Распределение Больцмана и Максвелла-Больцмана.
19. Корреляционная энергия и термодинамика плазмы.
20. Термодинамика систем с переменным числом частиц. Химический потенциал.
21. Фазовое равновесие. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
22. Правило фаз Гиббса.

23. Фазовые переходы второго рода.
24. Статистическое описание систем с переменным числом частиц.
25. Идеальный газ с переменным числом частиц.
26. Квантовое каноническое распределение.
27. Средняя энергия квантового осциллятора.
28. Постулат Нернста как следствие квантовой статистики.
29. Распределение Бозе-Эйнштейна.
30. Распределение Ферми-Дирака.
31. Температура вырождения и переход к классической статистике.
32. Сильновырожденный бозе-газ. Бозе-конденсация.
33. Электронный газ в металле при нулевой температуре.
34. Энергия ферми-газа при низких температурах. Электронная теплоемкость металлов.
35. Применение статистики Бозе-Эйнштейна к равновесному излучению.
36. Квантовая теория теплоемкости Дебая.
37. Термодинамические функции двухатомных квантовых газов.
38. Флуктуации. Флуктуации энергии и числа частиц.
39. Флуктуации физических величин (квазитермодинамическая теория флуктуаций).
40. Корреляции флуктуаций во времени. Формула Найквиста.
41. Число столкновений в газе. Прямые и обратные столкновения. Принцип детального равновесия.
42. Кинетическое уравнение Больцмана.
43. Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение.
44. Расчет коэффициента теплопроводности газа.
45. Расчет коэффициента электропроводности газа.
46. H- теорема Больцмана.
47. Уравнение Фоккера-Планка.

Для оценивания результатов обучения на экзамене с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<p>Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся демонстрирует высокий уровень владения материалом, ориентируется в предметной области, верно отвечает на все дополнительные вопросы.</p>	<p>Повышенный уровень</p>	<p>Отлично</p>

<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному или двум из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Допускаются ошибки при воспроизведении части теоретических положений.</p>	<p>Базовый уровень</p>	<p>Хорошо</p>
<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трём из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Сформированные знания основных понятий, определений и теорем, изучаемых в курсе, не всегда полное их понимание с затруднениями при воспроизведении.</p>	<p>Пороговый уровень</p>	<p>Удовлетворительно</p>
<p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым четырём из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные знания (либо их отсутствие) основных понятий, определений и теорем, используемых в курсе.</p>	<p>–</p>	<p>Неудовлетворительно</p>