

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

. 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.О.23 – Квантовая механика и статистическая физика

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

12.03.03 – фотоника и оптоинформатика

2. Профиль подготовки/специализация: Фотоника и оптоинформатика

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

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

6. Составители программы Корнеев Алексей Станиславович

Ф.И.О.

д.ф.-м.н.

доцент

ученая степень

ученое звание

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 26.06.2024 г. протокол № 6  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2025 - 2026, 2026 - 2027

Семестр(ы)/Триместр(ы): 4-5

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** основной целью дисциплины "Квантовая механика и статистическая физика" является формирование у студентов ясной физической картины явлений, происходящих как на микроскопическом, так и на макроскопическом уровне, а также понимание взаимной связи между указанными классами явлений. В ходе изучения дисциплины студент должен овладеть основными математическими методами и приемами теоретической физики, приобрести навыки решения практических задач в разделах квантовой механики, термодинамики и статистической физики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Является дисциплиной обязательной части. Курс знакомит студентов с современными методами и подходами теоретической физики на примере разделов нерелятивистская квантовая механика и статистическая физика. Для освоения курса необходимо использовать материал всех математических дисциплин базовой части «Математика», а также дисциплин базовой части «Физика». В свою очередь, материал курса «Квантовая механика и статистическая физика» необходим для изучения дисциплин вариативной части «Основы квантовой электроники», «Нanomатериалы и нанотехнологии» и «Квантовые коммуникации».

**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	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с фотонными технологиями обработки информации, проектированием, конструированием и технологиями производства элементов, приборов и систем фотоники и оптоинформатики	ОПК-1.1	Применяет знания естественных наук в инженерной практике	<p>знать: основные положения и методы нерелятивистской квантовой механики и статистической физики;</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах микро- и макросистем, а также методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p> <p>Владеть: современным аппаратом теоретической и математической физики, необходимым для решения задач нерелятивистской квантовой механики и статистической физики</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.** (в соответствии с учебным планом) — 8 / 288.

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

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		4	5	...
Аудиторные занятия	136	68	68	
в том числе:	Лекции	68	34	34
	практические	68	34	34
	лабораторные			
Самостоятельная работа	80	40	40	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – _ час.)	Экзамен – 72	Экзамен – 36	Экзамен – 36	
Итого:	288	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 в квантовую физику. Понятие волновой функции. Операторы физических величин и их свойства.	Экспериментальные предпосылки, приведшие к возникновению квантовой теории. Квантовые состояния. Волна Де-Бройля. Волновая функция: физический смысл, основные свойства. Принцип суперпозиции. Операторы физических величин. Алгебра операторов. Понятие самосопряженного (эрмитова) оператора. Собственные значения и собственные функции операторов. Свойства собственных значений и собственных функций линейных эрмитовых операторов. Условие совместной измеримости физических величин. Соотношение неопределенностей.	-
1.2	Нестационарное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Элементы теории представлений.	Нестационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Дифференцирование операторов по времени. Стационарные состояния. Свойства стационарных состояний. Интегралы движения. Стационарное уравнение Шредингера в координатном и импульсном представлении.	-
1.3	Точно решаемые задачи. Одномерные задачи. Движение в центральном поле	Одномерные задачи. Прямоугольная квантовая яма. Линейный гармонический осциллятор. Движение в пространственно-периодическом потенциале (ребенка Дирака). Общая теория движения в центральном поле. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата углового момента и его проекции. Разделение переменных в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Общие свойства решения. Токи в атомах. Магнетон Бора. Атом водорода.	-
1.4	Приближенные методы квантовой механики. Квазиклассическое приближение. Стационарная теория возмущений	Понятие действия. Метод ВКБ. Формула квантования Бора–Зоммерфельда. Прохождение микрочастиц сквозь потенциальный барьер в квазиклассическом приближении. Стационарная теория возмущений для невырожденных уровней. Условия применимости. Теория возмущений при наличии вырождения (для близких уровней).	-

1.5	Теория квантовых переходов. Нерелятивистская теория излучения	Теория квантовых переходов для возмущений, действующих в течение конечного промежутка времени. Теория квантовых переходов для гармонических возмущений. "Золотое" правило Ферми. Гамильтониан заряженной микрочастицы в электромагнитном поле. Случай слабого поля. Монохроматическая волна. Поглощение и вынужденное электромагнитное излучение света атомами. Длинноволновое приближение. Правила отбора для электрического дипольного излучения.	-
1.6	Нерелятивистская теория спина	Спиновый момент электрона. Матричная форма операторов. Матрицы Паули. Волновые функции спиновых состояний. Спиноры. Уравнение Паули. Эффект Зеемана. Спин фотона. Связь спина и поляризации.	-
1.7	Теория многих частиц	Уравнение Шредингера для системы тождественных частиц. Симметрия волновой функции. Связь со спином. Принцип Паули. Метод Хартри-Фока. Теория атома гелия. Основное состояние. Возбужденные состояния. Кулоновское и обменное кулоновское взаимодействие. Триpletный и синглетный гелий.	-
1.8	Термодинамика	Понятие температуры. Первое и второе начала термодинамики. Метод термодинамических потенциалов. Свободная энергия. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Термодинамика систем с переменным числом частиц. Теория фазовых переходов первого и второго рода.	-
1.9	Основные представления статистической физики	Формализм Лагранжа и Гамильтона. Обобщенные координаты и импульсы. Функция Гамильтона. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Эргодическая гипотеза.	-
1.10	Статистическая физика классических систем	Микроканоническое распределение. Связь энтропии и вероятности. Каноническое распределение. Идеальный газ. Распределение Максвелла и Больцмана. Большое каноническое распределение. Классическая теория теплоемкости твердых тел.	-
1.11	Элементы физической кинетики	Уравнение Больцмана в релаксационном приближении. Расчет коэффициентов проводимости и электропроводности.	-
1.12	Статистическая физика квантовых систем	Квантовое каноническое распределение. Распределение Ферми-Дирака. Температура вырождения. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость металлов. Распределение Бозе-Эйнштейна. Явление бозе-конденсации. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка.	-
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Введение. Волновая функция. Операторы физических величин и их свойства	Волновая функция. Вероятностная интерпретация. Нормировка. Средние значения физических величин. Алгебра операторов. Собственные значения и собственные функции операторов. Соотношение неопределенностей.	-
2.2	Одномерные задачи. Центральное поле	Прямоугольная потенциальная яма. Линейный гармонический осциллятор, спектр энергий, волновые функции стационарных состояний. Атом водорода. Средние значения физических величин в стационарных состояниях.	-
2.3	Приближенное решение стационарных задач. Квазиклассическое приближение.	Формула квантования Бора-Зоммерфельда. Прохождение микрочастиц сквозь потенциальный барьер в квазиклассическом приближении. Стационарная теория возмущений для	-

		невыврожденных уровней. Теория возмущений при наличии вырождения.	
2.4	Теория квантовых переходов.	Теория квантовых переходов для возмущений, действующих в течение конечного промежутка времени. Теория квантовых переходов для гармонических возмущений. "Золотое" правило Ферми. Поглощение и вынужденное электромагнитное излучение света атомами. Длинноволновое приближение. Правила отбора для электрического дипольного излучения. Время жизни атомов.	-
2.5	Нерелятивистская теория спина электрона	Спиновый момент электрона. Матрицы Паули. Волновые функции спиновых состояний.	-
2.6	Описание систем тождественных частиц	Теория атома гелия. Основное и возбужденное состояния.	-
2.7	Основы термодинамики	Первое и второе начало термодинамики. Метод Циклов. Метод термодинамических потенциалов.	-
2.8	Основные методы статистической физики	Нахождение функции Гамильтона системы. Фазовое пространство. Фазовый объем. Фазовая траектория Теорема Лиувилля.	-
2.9	Статистическая физика классических систем	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Идеальный газ. Распределение Больцмана и Максвелла.	-
2.10	Статистическая физика квантовых систем	Квантовое каноническое распределение. Распределение Ферми-Дирака. Температура вырождения. Вырожденный ферми-газ. Распределение Бозе-Эйнштейна. Температура бозе-конденсации. Распределение Планка.	-

\* 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
4 семестр						
1	Введение. Основные положения теоретической механики и электродинамики	6	6		5	17
2	Основы термодинамики	8	8		15	31
3	Основные методы статистической физики	12	10		10	32
4	Статистическая физика классических систем	6	8		6	20
5	Элементы физической кинетики	2	2		4	8
5 семестр						
6	Основные положения квантовой механики	7	7		8	22
7	Точно решаемые задачи	7	7		8	22
8	Приближенные методы квантовой механики	6	6		6	18
9	Нерелятивистская теория спина. Системы тождественных частиц	7	7		9	23
10	Статистическая физика квантовых систем	7	7		9	23
	Итого:	68	68		80	216

#### 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 строго следовать рекомендациям преподавателя по изучению материала.  
Систематически выполнять задания, предлагаемые преподавателем.

#### 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	Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов. — СПб: БХВ–Петербург, 2014. — 703 с.
2	Копытин, И.В. Квантовая теория: курс лекций / И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков, М.В. Фролов – издательский дом ВГУ, 2023 – 261 с. <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m23-01.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m23-01.pdf</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Лекции по квантовой механике и статистической физике : учебное пособие : в 2 ч. / АН Апталиев, С. И Мармо, Т. С. Саранцева, М.В. Фролов ; Воронежский государственный университет. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. Ч 1: Термодинамика и классическая статистическая физика, 2020. — 108 с.; Ч 2: Квантовая механика и статистическая физика, 2021. — 122 с.
4	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>
5	Галицкий, В.М. Задачи по квантовой механике : учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов : в 2 ч. / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган. — М. : Едиториал УРСС, 2001.
6	Флюгге, З. Задачи по квантовой механике : в 2 ч. / З. Хакен ; пер. с англ. Б.А. Лысова; под ред. А.А. Соколова. — Череповец : Меркурий-Пресс, 2000.
7	Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. III: Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Физматлит, 2001. — 803 с.
8	Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев. — СПб: Лань, 2004. — 664 с.
9	Базаров И.П. Термодинамика / И.П. Базаров. – М.: Высш. шк., 1991. – 376 с.
10	Ландау Л.Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2005. – 616 с.
11	Румер Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – Новосибирск: Изд-во Новосибирск. ун-та, 2000. – 608 с.
12	Терлецкий Я.П. Статистическая физика / Я.П. Терлецкий. – М.: Высш. шк., 1994. – 350 с.
13	Сборник задач по теоретической физике / Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич и др. – М.: Высш. шк., 1972. – 336 с.
14	Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем. Термодинамика / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.
15	Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2: Теория равновесных систем. Статистическая физика / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.

16	<i>Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3: Теория неравновесных систем / И.А. Квасников. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с.</i>
17	<i>Кубо Р. Статистическая механика / Р. Кубо. – М.: Мир, 1967. – 452 с.</i>

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

№ п/п	Ресурс
18	<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-154.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-154.pdf</a>
19	<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m20-121.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m20-121.pdf</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

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

**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.	Введение. Основные положения теоретической механики и электродинамики	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 1
2.	Основы термодинамики	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 1
3.	Основные методы статистической физики	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 1
4.	Статистическая физика классических систем	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 1
5.	Элементы физической кинетики	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 1
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов к экзамену 1
6.	Основные положения квантовой механики	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 2
7.	Точно решаемые задачи	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 2
8.	Приближенные	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	методы квантовой механики			
9.	Нерелятивистская теория спина. Системы тождественных частиц	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 3
10.	Статистическая физика квантовых систем	ОПК - 1	ОПК – 1.1	контрольная работа 3
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Список вопросов к экзамену 2

## 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 1,2,3

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

#### Пример варианта контрольной работы 1

1. Найти количество теплоты, получаемое одним молем газа Берто при изохорном нагревании от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ . Зависимость изохорной теплоемкости от температуры

$$C_v = C_v^0 + \frac{2a}{VT^2}$$

считать известной

2. Газ, состоящий из  $N$  независимых линейных гармонических осцилляторов массой  $m$ , частотой  $\omega$  находится при температуре  $T$ . Найти интеграл состояния и выражение для внутренней энергии (расчет проводить в сферической системе координат).

3. Идеальный газ, состоящий из молекул массой  $m$ , находится внутри бесконечного параболоида вращения (форма границы параболоида задается уравнением  $z = \alpha r^2$ ), помещенного в однородное поле тяготения. Записать нормированное распределение Больцмана. Найти среднее и наиболее вероятное положение молекул в сосуде.

#### Пример варианта контрольной работы 2

1. Дана волновая функция  $\Psi(x) = A x e^{-\alpha x^2}$ , где  $-\infty < x < \infty$ , постоянная  $\alpha > 0$ .

$$A = 2 \sqrt{\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}}}$$

Найти нормировочную постоянную  $A$ . Ответ:

2. Вычислить коммутатор  $[\hat{L}_y, x^2]$ . Ответ:  $-2i\hbar xz$ .

3. Частицы налетают слева на прямоугольную потенциальную ступеньку, изображенную на рисунке. Определить коэффициент отражения  $R$  для случая  $E > U_0$ .

$$R = \left( \frac{\sqrt{E} - \sqrt{E - U_0}}{\sqrt{E} + \sqrt{E - U_0}} \right)^2$$

Ответ:



**Пример варианта контрольной работы 3**

1. Для частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме ширины  $a$  ( $0 < x < a$ )

найти средние значения  $\langle x \rangle$  и  $\langle p_x^2 \rangle$ .

Ответ:  $\langle x \rangle = \frac{a}{2}$ ,  $\langle p_x^2 \rangle = \left( \frac{\pi \hbar n}{a} \right)^2$ .

2. На частицу из предыдущей задачи наложено возмущение

$$V(x) = \alpha \cdot \delta\left(x - \frac{a}{2}\right)$$

Найти сдвиг энергетических уровней в первом порядке теории возмущений.

Ответ:  $E^{(1)} = 2\alpha/a$  при нечетных  $n$ , остальные нули.

3. Линейный гармонический осциллятор с массой  $\mu$ , частотой  $\omega$  и зарядом  $e$  находился при  $t \rightarrow -\infty$  в состоянии  $|n\rangle$ . Он подвергается воздействию внешнего поля (вдоль оси  $x$ ) напряженностью:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{t^2}{\tau^2}\right)$$

Найти в первом порядке теории возмущений вероятность обнаружить осциллятор в состоянии  $|n-1\rangle$ .

$$W_{fi} = \frac{e^2 \varepsilon_0^2}{2\mu \hbar \omega} \pi \tau^2 e^{-\omega^2 \tau^2 / 2} n$$

Ответ:

4. Найти зависимость от температуры химического потенциала  $\mu(T)$  и внутренней энергии  $U(T)$  для вырожденного ультрарелятивистского Ферми-газа.

5. Найти температуру бозе-конденсации для слабoreлятивистского бозе-газа с точностью до членов  $1/c^2$ .

**Описание технологии проведения**

На решение заданий контрольной работы выделяется 2 академических часа. При решении задач студент может пользоваться заранее подготовленными методическими материалами.

**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 для проведения экзамена 1

*(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)*

1. Основные положения теоретической механики. Функция Гамильтона.
2. Основные положения электродинамики. Скалярный и векторный потенциал.
3. Термодинамический и статистический способы описания макросистем.
4. Первое и второе начало термодинамики. Метод термодинамических потенциалов.
5. Термодинамика диэлектриков и магнетиков.
6. Фазовые переходы 1го рода.
7. Фазовые переходы 2го рода.
8. Основные постулаты статистического описания макросистем. Фазовое пространство. Функция распределения. Эргодическая гипотеза.
9. Микроканоническое распределение.
10. Каноническое распределение Гиббса.
11. Функция распределения для энергии.
12. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале.
13. Классическая теория теплоемкости твердых тел.
14. Одночастичные классические распределения (распределение Максвелла по проекциям и абсолютным значениям скорости, распределение Больцмана).
15. Большое каноническое распределение.
16. Корреляционная энергия и термодинамика плазмы.
17. Термодинамика систем с переменным числом частиц.
18. Элементы физической кинетики. Кинетическое уравнение Больцмана в релаксационном приближении.
19. Явления переноса: вязкость, электро- и теплопроводность.
20. Уравнение Эйнштейна–Фоккера–Планка. Диффузия.

## Список вопросов для проведения экзамена 2

*(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)*

1. Элементы физической кинетики
2. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция.
3. Операторы физических величин. Свойства собственных чисел и собственных функций эрмитова оператора.
4. Временная эволюция квантовой системы. Нестационарное уравнение Шредингера.
5. Стационарные состояния квантовой системы. Стационарное уравнение Шредингера. Интегралы состояния.
6. Одномерное движение. Прямоугольная потенциальная яма.
7. Одномерное движение. Движение в пространственно-периодическом потенциале.
8. Линейный гармонический осциллятор
9. Движение в центральном поле. Операторы  $L^2$  и  $L_z$ . Радиальное уравнение Шредингера.
10. Движение в центральном поле. Движение свободной частицы
11. Атом водорода.
12. Токи в атомах. Магнетон Бора.
13. Квазиклассическое приближение
14. Стационарная теория возмущений
15. Нестационарная теория возмущений. Взаимодействие с электромагнитным полем. Дипольное приближение.
16. Нерелятивистская теория спина. Уравнение Паули.
17. Системы тождественных частиц.
18. Квантовое каноническое распределение.
19. Теории теплоемкости твердых тел Эйнштейна и Дебая.
20. Распределение Ферми–Дирака
21. Распределение Бозе–Эйнштейна.
22. Свойства вырожденного ферми-газа.
23. Свойства вырожденного бозе-газа. Бозе-конденсация.
24. Фотонный газ. Законы равновесного излучения. Распределение Планка.

## Описание технологии проведения

Экзамен проходит в устной форме. Студенту предлагается 2 вопроса из полного списка вопросов, на которые он должен дать развернутый ответ в течение одного академического часа. В случае, если студент имеет оценку «неудовлетворительно» по одной из контрольных работ текущей аттестации, ему также предлагается одна из задачи из соответствующей контрольной работы.

## Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

*«Отлично»:* Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом, умение решать практические задачи

*«Хорошо»:* Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала, умение решать практические задачи

*«Удовлетворительно»:* Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала, низкие навыки решения практических задач

*«Неудовлетворительно»:* плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов, отсутствие навыков решения практических задач