



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УМР

Е. В. Коновалова

20 июня 2019 г., протокол УС №6

МОДУЛЬ "ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА"

Статистическая физика

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Экспериментальной физики**

Учебный план b030302-ЦифрТех-19-1.plx
03.03.02 ФИЗИКА
Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **2 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 72
в том числе:

аудиторные занятия 16

самостоятельная работа 20

часов на контроль 36

Виды контроля в семестрах:
экзамены 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РПД	УП	РПД
Лекции	8	8	8	8
Практические	8	8	8	8
Итого ауд.	16	16	16	16
Контактная работа	16	16	16	16
Сам. работа	20	20	20	20
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	72	72	72	72

Программу составил(и):
к.ф.-м.н., доцент, С.Л. Лебедев



Рабочая программа дисциплины
Статистическая физика

разработана в соответствии с ФГОС:
Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 07.08.2014г. №937)

составлена на основании учебного плана:
03.03.02 ФИЗИКА
Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике
утвержденного учёным советом вуза от 20 июня 2019 г., протокол УС №6

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры
Экспериментальной физики

Протокол от 17 05 2019 г. № 03/40
Срок действия программы: - уч.г.
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., с.н.с. Ельников А. В.



Председатель УМС к.т.н., доцент Тораксанов Д.В.
04 06 2019 г. ✓ 06/19



1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Формирование современного понимания законов в области физики тепловых явлений и систем большого числа частиц на основе молекулярно-кинетических представлений о природе тепла.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.Б.08
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Теоретическая механика
2.1.2	Электродинамика
2.1.3	Квантовая теория
2.1.4	Термодинамика
2.1.5	Модуль "Общая физика"
2.1.6	Модуль "Математика"
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Физическая кинетика

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
ОК-7: способностью к самоорганизации и самообразованию	
ОПК-3: способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	- основные положения метода Гиббса, понятие ансамбля и его разновидности;
3.1.2	- канонические функции распределения;
3.1.3	- отличия в описании микросостояний в классической и квантовой статистике, метод чисел заполнения и примеры его применения;
3.1.4	- одночастичные функции распределения Максвелла – Больцмана, Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна, а также примеры их использования;
3.1.5	- особенности поведения ферми и бозе-систем при низких температурах.
3.2	Уметь:
3.2.1	- находить статистические и термодинамические характеристики равновесных состояний, в том числе – с использованием метода Гиббса;
3.2.2	- использовать количественные критерии, определяющие качественные особенности поведения макросистем (условие разреженности, вырожденности, равновесности, магнитной упорядоченности и т.п.).
3.3	Владеть:
3.3.1	- техническими приёмами вычислений (метод якобианов, метод термодинамических потенциалов, метод функций распределения и т.д.).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)							
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел 1. Основные положения статистической физики. Статистическое обоснование термодинамики						
1.1	Основные положения статистической физики. Статистическое обоснование термодинамики /Лек/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.1 Э1	0	Устный опрос

1.2	Основные положения статистической физики. Статистическое обоснование термодинамики /Пр/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.3 Л1.5Л2.1 Л2.2Л3.2	0	Решение задач
1.3	Основные положения статистической физики. Статистическое обоснование термодинамики /Ср/	8	5	ОК-7 ОПК-3	Л3.2 Э1	0	Подготовка к практическому занятию
Раздел 2. Применения классической статистики							
2.1	Применения классической статистики /Лек/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.2 Э1	0	Устный опрос
2.2	Применения классической статистики /Пр/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
2.3	Применения классической статистики /Ср/	8	5	ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	Подготовка к практическому занятию
Раздел 3. Квантовые ансамбли. Идеальные ферми- и бозе-системы							
3.1	Квантовые ансамбли. Идеальные ферми - и бозе-системы /Лек/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.3 Л1.5Л2.1 Э1	0	Устный опрос
3.2	Квантовые ансамбли. Идеальные ферми - и бозе-системы /Пр/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.1Л3.1	0	Решение задач
3.3	/Контр.раб./	8	0			0	
3.4	Квантовые ансамбли. Идеальные ферми - и бозе-системы /Ср/	8	5	ОК-7 ОПК-3	Л1.4Л2.3Л3.2 Э1	0	Подготовка к практическому занятию
Раздел 4. Ферми- и бозе-системы при низких температурах							
4.1	Ферми- и бозе-системы при низких температурах /Лек/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.3 Л1.4Л2.3 Э1	0	Устный опрос
4.2	Ферми- и бозе-системы при низких температурах /Пр/	8	2	ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.1Л3.1 Л3.2	0	Решение задач
4.3	Ферми- и бозе-системы при низких температурах /Ср/	8	5	ОК-7 ОПК-3	Л1.3 Л1.5Л3.2 Э1	0	Подготовка к практическому занятию
Раздел 5. экзамен							
5.1	/Экзамен/	8	36	ОК-7 ОПК-3		0	

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

Приложение №1

5.2. Темы письменных работ

Приложение №1

5.3. Фонд оценочных средств

Приложение №1

5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос
Контрольная работа
Экзамен

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
---------------------	----------	-------------------	----------

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л1.1	Ансельм А. И.	Основы статистической физики и термодинамики: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по физическим и техническим направлениям и	СПб. [и др.]: Лань, 2007	10
Л1.2	Базаров И. П.	Термодинамика: учебник	СПб. [и др.]: Лань, 2010	5
Л1.3	Белонучкин В. Е., Ципенюк Ю. М., Заикин Д. А., Ципенюк Ю. М.	Квантовая и статистическая физика. Термодинамика	Москва: Физматлит, 2007, http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2201	1
Л1.4	Мэтгис Д. Ч., Свендсен Р. Г., Зубченко Н. А.	Статистическая механика. Просто о сложном: учебное пособие	Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011, http://www.iprbookshop.ru/16629	1
Л1.5	Лисейкина Т. А., Пинегина Т. Ю., Черевко А. Г.	Курс физики. Раздел шестой. Статистическая физика и термодинамика: Учебное пособие	Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013, http://www.iprbookshop.ru/45476.html	1

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л2.1	Терлецкий Я. П.	Статистическая физика: Учебное пособие для студ. физ.-мат. и физ. спец. ВУЗов	М.: Высшая школа, 1994	5
Л2.2	Михнев Л.В., Бондаренко Е.А.	Термодинамика и статистическая физика: практикум	Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016, http://www.iprbookshop.ru/69442.html	1
Л2.3	Ефремов Ю. С.	Статистическая физика и термодинамика: Учебное пособие	Москва: Издательство Юрайт, 2019, https://www.biblio-online.ru/bcode/438850	1

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л3.1	Караваев Г. Ф., Герасимов В. В.	Основы термодинамики и статистической физики в задачах (с решениями): учебное пособие для студентов высших учебных заведений РФ, обучающихся по специальности 010701 - Физика, и по направлению подготовки ВПО 010700 - Физика	Ростов-на-Дону: Феникс, 2012	2

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
ЛЗ.2	Кондратьев А.С., Ляпцев А.В.	Физика. Задачи на компьютере: учеб. пособие	Москва: Физматлит, 2008, http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=2208	1

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Лекциопедия - библиотека лекционного материала
Э2	

6.3.1 Перечень программного обеспечения

6.3.1.1	Microsoft Office
---------	------------------

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	http://www.garant.ru/ Информационно-правовой портал Гарант.ру
6.3.2.2	http://www.consultant.ru/ Справочно-правовая система Консультант Плюс

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа (практических занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащены: типовой учебной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
-----	---

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

--	--

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
Приложение к рабочей программе по дисциплине

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Квалификация выпускника	бакалавр
Направление подготовки	03.03.02 Физика
Направленность (профиль)	Цифровые технологии в геофизике
Форма обучения	очная
Кафедра-разработчик	Кафедра экспериментальной физики
Выпускающая кафедра	Кафедра экспериментальной физики

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине (8 семестр)

Вопросы к устному опросу.

1. Термодинамическая система как объект исследования.	ОК-7
2. Принцип аддитивности.	
3. Классы аддитивности	
4. Микроскопическое и макроскопическое описание.	
5. Фазовое пространство.	
6. Фазовая траектория.	
7. Статистический ансамбль.	
8. Статистическая независимость.	
9. Квазизамкнутые системы.	ОК-7, ОПК-3
10. Энтропия и статистический вес	
11. Термодинамические величины.	
12. Температура.	
13. Макроскопическое движение.	
14. Адиабатический процесс. Давление.	
15. Работа и количество тепла.	
16. Теплоемкость.	
17. Теорема Карно.	ОК-7, ОПК-3
18. Третий закон термодинамики и его следствия. Недостижимость абсолютного нуля температур.	
19. Распределение Больцмана.	ОК-7, ОПК-3
20. Свободная энергия идеального газа.	
21. Уравнение состояния.	
22. Формула Планка для плотности равновесного излучения.	
23. Предельные случаи низких и высоких частот.	
24. Теплоемкость равновесного излучения.	
25. Давление равновесного излучения	
26. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна.	
27. Учет тождественности частиц.	
28. Ферми- газ при низких температурах.	
29. Электронный газ в металлах.	
30. Релятивистский вырожденный Ферми-газ. Бозе- газ при низких температурах.	
31. Учет молекулярного взаимодействия в системе.	
32. Системы с коротко действующими силами,	
33. Уравнение состояния классического слабо неидеального газа.	
34. Равновесные химические реакции в смеси идеальных газов.	

РАЗДЕЛЫ I – IV . Типовые задачи

Вариант 1

1. Сосуд с газом совершает равномерное движение со скоростью \vec{V} относительно лабораторной системы отсчета. Найти функцию распределения молекул газа по скоростям в L - системе.
2. Дайте определение канонического ансамбля. Объясните, как, зная статсумму, определить энтропию и внутреннюю энергию термодинамической системы.

Вариант 2

1. Подсчитайте число различных микросостояний для системы из двух тождественных фермионов, энергии которых могут принимать только два значения ε_1 и ε_2 с кратностями вырождения $\nu_{\varepsilon_1} = 3$ и $\nu_{\varepsilon_2} = 2$ соответственно (то есть фермионы можно распределять по двум «ящикам» с числом «ячеек» 3 и 2 соответственно).
2. Дайте определение большого канонического ансамбля. Выясните, как, зная статсумму, определить внутреннюю энергию и энтропию системы?

Вариант 3

1. Газ из молекул, обладающих постоянным магнитным моментом μ , находится в однородном магнитном поле с индукцией B . Найти наиболее вероятное значение для угла, который образует магнитный момент с магнитным полем, если температура газа равна T .
2. Сформулируйте основные положения метода Гиббса для квантовых термодинамических систем. Укажите, как в рамках квантового статистического метода Гиббса определяются термодинамические величины (энтропия, свободная энергия, внутренняя энергия). Используйте в качестве примера каноническое распределение.

Вариант 4

1. Проанализируйте поведение максвелловской функции распределения, по скоростям и определите, какое из двух чисел молекул - $N(v_a < v < v_{cp})$ или $N(v_{cp} < v < v_{кв})$, - больше. Здесь $N(v_1 < v < v_2)$ обозначает число частиц (из общего числа N), скорости которых лежат в интервале от v_1 до v_2 , а v_a , v_{cp} , $v_{кв}$ - наименее вероятная, средняя (по модулю) и среднеквадратичная скорости соответственно.
2. Дайте определение термодинамической вероятности и укажите её связь с энтропией. Как вычисляется энтропия равновесного идеального бозе-газа в методе Больцмана?

Вариант 5

1. Покажите, что в соответствии с принципом квазинезависимости подсистем, энтропия смеси двух разных идеальных газов, равна сумме энтропий отдельных подсистем, находящихся в одном и том же объёме V при температуре T .
2. На основе общих свойств в функции распределения Ферми-Дирака дать качественное определение энергии Ферми.

Вариант 6

1. Используя распределение Больцмана, вычислить среднеквадратичную дисперсию потенциальной энергии молекулы, обладающей фиксированным магнитным моментом μ , если парамагнитный газ помещен во внешнее магнитное поле с индукцией B . [Указание: используйте соотношение $\langle (\Delta W_H)^2 \rangle = \langle W_H^2 \rangle - \langle W_H \rangle^2$].

2. Дайте определение ансамбля открытых систем. Запишите функцию распределения для ансамбля открытых систем. Как определяется равновесное число частиц с ее помощью?

Вариант 7

1. Пользуясь распределением Бозе-Эйнштейна для равновесного газа фотонов (то есть равновесного электромагнитного излучения), найдите среднее число фотонов, находящихся в объёме V при температуре T . Покажите, что концентрация фотонов пропорциональна $(T)^3$, (т.е. $\frac{\langle N \rangle}{V} \propto T^3$). [Указание: используйте метод суммирования по квазинепрерывному набору квантовых чисел].
2. Приведите примеры систем, обладающих дополнительными (помимо P, V и T) характеристиками термодинамического состояния. Как записывается 1^е начало термодинамики для таких систем?

Вариант 8

1. Рассмотрите смесь двух парамагнитных газов, магнитные моменты молекул в которых равны μ_1 и μ_2 . Покажите, что магнитная добавка к энтропии смеси складывается из «магнитных» энтропий двум подсистем. Индукция магнитного поля B и температура T заданы. [Указание: используйте определение статсуммы и связь между энтропией и свободной энергией].
2. Укажите различие в поведении химических потенциалов идеальных ферми- и бозе- газов при температуре, приближающейся к абсолютному нулю.

Вариант 9

1. Пользуясь функцией распределения для большого канонического ансамбля, получите уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева) [Указание: использовать определение большой статсуммы].
2. Объясните смысл выражения «блокировка Паули». Какие макроскопические эффекты связаны с блокировкой Паули (приведите примеры).

Вариант 10

1. Если пренебречь вращательной кинетической энергией, то гамильтониан двухатомной молекулы идеального газа можно записать в виде
$$h(p, q) = \frac{\vec{P}^2}{2M} + \frac{P_{\text{омн}}^2}{2\mu} + \frac{\chi r^2}{2},$$
 (χ - «жесткость» осциллятора), где два последних слагаемых описывают кинетическую и потенциальную энергию *относительного* движения атомов, а первое – кинетическую энергию молекулы как целого. Относительную координату r (как и соответствующий ей импульс $P_{\text{омн}} = \mu \dot{r}$) можно считать изменяющейся в интервале $(-\infty, +\infty)$. Вычислить свободную энергию такого 2-атомного газа из N частиц и определить, таким образом, поправку к свободной энергии идеального газа, связанную с наличием колебательных степеней свободы.
2. Что такое температура Ферми и каков её физический смысл?

Вариант 11

1. Вычислить свободную энергию идеального газа с необычной зависимостью энергии от импульса: $\varepsilon = a|\vec{p}|^3$ (a – постоянная величина). Показать, что термическое уравнение состояния такого газа совпадает с уравнением Клапейрона.

2. Чем отличаются статистики, то есть способы вычисления термодинамической вероятности в случаях ферми- и бозе-систем?

Вариант 12

1. Считая, что взаимодействие между атомами неона описывается потенциалом Леннарда – Джонса, в котором характерные параметры ϵ и δ имеют значения $4,90 \cdot 10^{-15}$ эрг и $2,76 \text{ \AA}$ соответственно, оцените критическую температуру для этого газа.
2. Почему выражение для энтропии идеального газа, полученное на основе уравнения Клапейрона-Менделеева, противоречит третьему началу термодинамики? Оцените температуру, при которой эта формула начнёт заметно отличаться от правильной (получаемой методами квантовой статистики).

Вариант 13

1. Вычислить классические и квантовые статистические суммы системы из N одинаковых одномерных невзаимодействующих осцилляторов с собственной частотой Ω . Сравнить свободные энергии $F_{КЛ}$ и $F_{КВ}$ в пределе $\beta \hbar \Omega \ll 1$. [Указание: гамильтониан каждого осциллятора $h = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$, причём, при не слишком высокой температуре координату x можно считать изменяющейся в неограниченном интервале (почему?)].
2. Почему массивный поршень, выведенный из равновесия, и закрывающий идеальный газ в теплоизолированном сосуде, не сможет бесконечно долго колебаться, даже при отсутствии трения поршня о стенки сосуда?

Вариант 14

1. Идеальный газ находится в высоком сосуде, высотой H . Определите поправку к теплоёмкости C_V газа, вызванную учётом гравитационного поля земли. С чем связана трудность в определении C_P для такой системы? [Указание: для определения среднего значения высоты подъёма $\langle h \rangle$ одной молекулы воспользуйтесь распределением Больцмана].
2. Используя явное выражение для Ω -потенциала Гиббса в случае идеального бозе-газа, убедитесь, что энтропия газа может быть найдена из общего термодинамического соотношения $S = - \left(\frac{\partial \Omega}{\partial T} \right)_{V, \mu}$.

Вариант 15

1. Используя явное выражение для Ω -потенциала Гиббса равновесного электромагнитного излучения (фотонного газа), определите зависимость Ω от объема и температуры. Найдите энтропию и термическое уравнение состояния фотонного газа. [Указание: используйте метод суммирования по квазинепрерывному набору квантовых чисел и переход к безразмерным переменным интегрирования].
2. Почему с ростом размеров броуновской частицы (даже при неизменности ее массы) степень ее случайных «дрожаний» уменьшается? (Поясните качественно).

Вариант 16

1. Рассмотрите газ ультрарелятивистских невзаимодействующих частиц, для которых энергия связана с импульсом соотношением: $\epsilon = c|\vec{p}|$. Найти энтропию и внутреннюю энергию этого газа как функции температуры и объёма.
2. Почему при комнатных и более низких температурах не все электроны проводимости в металле вносят одинаковый вклад в теплоёмкость?

Вариант 17

1. Используя микроканоническое распределение, определить энтропию идеального газа, как функцию внутренней энергии U , объема V и числа частиц N . [Указание: определить фазовый объем $\Gamma(U)$ и воспользоваться гиббсовым определением энтропии. Учсть, что объем D -мерной сферы может быть выражен в виде: $V_D = \Omega_D \frac{R^D}{D}$, где R – радиус сферы, а полный телесный угол D -мерного пространства $\Omega_D = \frac{2\pi^{D/2}}{\Gamma(D/2)}$; при больших D можно использовать формулу Стирлинга для Γ -функции Эйлера.]
2. Используя формулу Планка для спектральной плотности энергии равновесного ЭМИ, получить формулу Релея-Джинса. В чем заключается смысл термина «ультрафиолетовая катастрофа»?

Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену

1. ТД принцип аддитивности. Классы аддитивности
2. Статистическое обоснование термодинамики
3. Квантовые ансамбли.
4. Идеальные ферми- и бозе-системы. Ферми- и бозе-системы при низких температурах.
5. Микроскопическое и макроскопическое описание. Фазовое пространство. Фазовая траектория.
6. Статистический ансамбль. Функция статистического распределения и ее свойства. Эргодичность. ТД равновесие. Статистическая независимость.
7. Квазизамкнутые системы. Флуктуации физических величин.
8. Теорема Лиувилля. Постулат о микроканоническом распределении.
9. Квантовая статистика. Статистический оператор и его свойства.
10. Энтропия и статистический вес
11. Термодинамические величины. Температура. Макроскопическое движение. Внешние воздействия. Адиабатический процесс. Давление.
12. Работа и количество тепла. Теплоемкость..
13. Термодинамические потенциалы. Первый и второй закон термодинамики. Теорема Карно.
14. ТД неравенства. Третий закон термодинамики и его следствия. Недостижимость абсолютного нуля температур. Поведение теплоемкости вблизи абсолютного нуля
15. Каноническое распределение Гиббса. Распределение Максвелла. Свободная энергия в распределении Гиббса. Большое каноническое распределение Гиббса. ТД эквивалентность канонических распределений.
16. Распределение Больцмана. Свободная энергия идеального газа. Уравнение состояния. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Закон равнораспределения. Пределы применимости идеального больцмановского газа.
17. Теплоемкость двухатомного газа. Вклад вращательных, колебательных и электронных степеней свободы. Учет взаимодействий ядерного спина и молекулярного вращения (орто- и параводород, орто- и пара- дейтерий).
18. Формула Планка для плотности равновесного излучения. Предельные случаи низких и высоких частот. Формулы Релея-Джинса и Вина. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Теплоемкость равновесного излучения. Давление равновесного излучения
19. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна. Учет тождественности частиц. Ферми- газ при низких температурах. Электронный газ в металлах. Релятивистский вырожденный Ферми-газ. Бозе- газ при низких температурах.

20. Учет молекулярного взаимодействия в системе. Системы с коротко действующими силами, Уравнение состояния классического слабо неидеального газа. Вириальное разложение. Расчет первых поправок к основным ТД величинам.
21. Равновесные химические реакции в смеси идеальных газов. Закон действующих масс. Константа химического равновесия. Тепловой эффект химической реакции. Уравнение Вант-Гоффа

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине

Текущий контроль предназначен для проверки качества формирования компетенций, уровня овладения теоретическими и практическими знаниями, умениями и навыками. Оценивание знаний теоретического материала по каждому разделу проводится на практических занятиях. Умение решать задачи проверяется контрольной работой.

Критерии оценивания контрольных работ

Проверяемые компетенции	Критерии оценивания	Оценка
ОК-7 ОПК-3	Все задачи решаются полностью: приводится верное аналитическое решение, делается правильный расчет.	<i>Отлично</i>
	Приведены решения задач контрольной работы, но есть небольшие недочеты при использовании законов, формул, в целом не влияющих на ход решения, допущены ошибки при вычислении численных результатов. Общая доля невыполненных заданий не превышает 5–7 % от общего объема контрольной работы.	<i>Хорошо</i>
	Приведены решения не всех заданий контрольной работы, есть существенные недостатки при выводе аналитических выражений, не проведены численные расчеты. Общая доля невыполненных заданий составляет не более 50 % от общего объема контрольной работы.	<i>Удовлетворительно</i>
	Решения заданий приведены неверно или вовсе отсутствуют. Общая доля невыполненных заданий составляет более 50 % от общего объема контрольной работы.	<i>Неудовлетворительно</i>

Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине

Методические рекомендации по подготовке к экзамену.

На экзамене подводится итог работы студента в течение семестра.

Подготовка к экзамену требует определенного алгоритма действий. Прежде всего, необходимо ознакомиться с вопросами, которые выносятся на экзамен. На основе этого следует составить план повторения и систематизации учебного материала. Нельзя ограничиваться только конспектами лекций, следует проработать рекомендованные учебные пособия и литературу. В отдельной тетради на каждый вопрос следует составить краткий план ответа в логической последовательности и с фиксацией необходимого иллюстративного материала (примеры, рисунки, схемы, цифры).

Если отдельные вопросы программы остаются неясными, их необходимо написать на полях конспекта, чтобы выяснить на консультации. Важнейшую информацию следует обозначать другим цветом, это помогает лучше ее запомнить.

Следует постепенно переходить от повторения материала одной темы к другой. Когда повторен и систематизирован весь учебный материал, необходимо пересмотреть его еще раз уже со своими записями, проверяя мысленно, как усвоен материал.

Условия допуска студента к экзамену

Для того, чтобы быть допущенным к сдаче экзамена, студенту необходимо выполнить следующие требования:

- 1) регулярно посещать аудиторные занятия по дисциплине (пропуск занятий не допускается без уважительной причины); в случае пропуска занятия студент должен быть готов ответить на вопросы преподавателя, относящиеся к пропущенной теме;
- 2) выполнить контрольные работы на оценку «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», провести анализ ошибок контрольной работы.

Критерии оценивания ответов на вопросы экзамена:

Проверяемые компетенции	Критерии оценивания	Оценка
ОК-7 ОПК-3	Студент показывает, что он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое нестандартное решение.	<i>Отлично</i>
	Студент показывает, что он прочно усвоил материал: последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, может обосновать принятое нестандартное решение, но есть небольшие недочеты в формулировках.	<i>Хорошо</i>
	Студент показывает, что он усвоил материал, последовательно его излагает, умеет увязывать теорию с практикой, но затрудняется с ответом при видоизменении заданий, есть существенные ошибки в отдельных формулировках.	<i>Удовлетворительно</i>
	Студент показывает, что он не усвоил материал, плохо его излагает, не умеет увязывать теорию с практикой, затрудняется с ответом при видоизменении заданий.	<i>Неудовлетворительно</i>