

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Таюрский

» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
Молекулярная физика Б1.Б.13

Направление подготовки: 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Налетов В.В.

**Рецензент(ы):**

Деминов Р.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Таюрский Д. А.

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

Учебно-методическая комиссия Института физики:

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

Регистрационный No 6160918

Казань  
2018

## 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) Налетов В.В. Кафедра общей физики Отделение физики, Vladimir.Naletov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины Б3.Б.2 "Молекулярная физика" являются знакомство с физическими явлениями, обусловленными атомарно-корпускулярным строением вещества, формирование у студентов представлений об понятиях, законах и методах молекулярной физики, навыков простейших практических расчетов, а также экспериментальной работы в лаборатории. В курсе излагаются основные закономерности тепловых явлений, рассматриваются термодинамический и статистический методы описания, формулируются законы термодинамики и статистические постулаты, изучаются физические свойства систем атомов и молекул на основе модельных представлений, даются понятия физики пограничных явлений и фазовых переходов, физики твердого тела.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.13 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 12.03.04 Биотехнические системы и технологии и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Дисциплина Б3.Б2 "Молекулярная физика" входит в профессиональный цикл (блок Б3) бакалавров по направлению 011200.62 - "Физика" и является обязательной для изучения.

Изучение данной дисциплины базируется на подготовке по физике и математике в рамках Государственного стандарта общего образования, дисциплин подготовки бакалавров по направлению 011200.62 - "Физика": Б3.Б.1 "Механика", Б2.Б.1 "Математический анализ".

Дисциплина является составной частью курса общей физики и служит основой для последующего изучения дисциплин курса общей физики (Б3.Б.3 "Электричество и магнетизм", Б3.Б.4 "Оптика", Б3.Б.5 "Атомная физика", Б3.Б.6 "Физика атомного ядра и элементарных частиц"), для выполнения лабораторных работ в рамках занятий по дисциплине Б3.Б.7 "Общий физический практикум", а также изучения дисциплин Б3.Б.11 "Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика" и Б3.Б.14 "Физика конденсированного состояния".

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способность к самоорганизации и самообразованию
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность выполнять эксперименты и интерпретировать результаты по проверке корректности и эффективности решений
ПК-2 (профессиональные компетенции)	готовность к участию в проведении медико-биологических, экологических и научно-технических исследований с применением технических средств, информационных технологий и методов обработки результатов

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- физические основы явлений, связанных с атомарно-корпускулярным строением вещества;
- основные классические и современные экспериментальные результаты в области тепловых явлений, явлений переноса, фазовых переходов;
- основные законы термодинамики, методы термодинамического и статистического описания многочастичных систем;
- принципы работы и устройство современной экспериментальной аппаратуры для исследования тепловых явлений, явлений переноса, фазовых переходов.

2. должен уметь:

- применять статистические и термодинамические методы к описанию явлений, связанных с атомарно-корпускулярным строением вещества;
- использовать методы физических исследований для изучения термодинамических процессов;
- устанавливать взаимосвязь молекулярных явлений с другими разделами физики, и особо, в пограничных областях - физической химии и химической физики;
- использовать современные образовательные и информационные технологии для приобретения новых знаний

3. должен владеть:

- навыками расчетов в рамках термодинамического и статистического методов описания;
- навыками работы с простейшей измерительной аппаратурой;
- навыками работы с учебной и научной литературой.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- к решению задач, связанных с атомарно-корпускулярным строением вещества
- эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование
- работать с современными образовательными и информационными технологиями

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен во 2 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	2	1	2	1	0	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Термодинамический метод - I	2	2	2	1	0	Устный опрос
3.	Тема 3. Основные параметры молекул и молекулярного движения	2	1	2	2	0	Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики. Вычисление вероятностей	2	2	0	8	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Статистический метод Микро- и макроскопические состояния системы.	2	3	3	0	0	Устный опрос
6.	Тема 6. Статистический метод Тепловой контакт между системами	2	4	2	0	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Статистический метод Свойства распределения Максвелла.	2	5	3	6	0	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Газ во внешнем потенциальном поле.	2	6	3	2	0	Коллоквиум
9.	Тема 9. Решение задач по квазистатическим изопроцессам в идеальных газах.	2	5,6	0	4	0	Письменное домашнее задание
10.	Тема 10. Кинематические характеристики молекулярного движения.	2	7	3	2	0	Письменное домашнее задание
11.	Тема 11. Термодинамический метод	2	8,9,10	6	10	0	Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Межмолекулярное взаимодействие	2	11	2	4	0	Письменное 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	
13.	Тема 13. Реальные газы и жидкост	2	12	4	6	0	Письменное домашнее задание
14.	Тема 14. Фазовые переходы	2	13	4	4	0	Письменное домашнее задание
15.	Тема 15. Твердые тела	2	14	4	0	0	Коллоквиум
16.	Тема 16. Процессы переноса	2	15,16	4	4	0	Письменное домашнее задание
17.	Тема 17. Современные материалы.	2	17,18	4	0	0	Устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	Экзамен
	Итого			48	54	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. ВВЕДЕНИЕ

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

Предмет молекулярной физики. Роль молекулярной физики в развитии естествознания и философии. Агрегатные состояния и фазы вещества. Методы описания явлений (динамический, статистический, термодинамический).

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

Введение в предмет молекулярной физики. Повторение и решение простых задач из курса общей физики.

### Тема 2. Термодинамический метод - I

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

Определение микро- и макросостояния. Стационарные и равновесные состояния. Термодинамические параметры. Тепловой контакт между системами ? термодинамическое рассмотрение. Термодинамическое определение температуры. Термометрическое тело, эмпирические температурные шкалы.

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

Решение задач на теплообмен, изменение внутренней энергии при теплообмене.

### Тема 3. Основные параметры молекул и молекулярного движения

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

Характеристики молекулярного движения. Поперечное сечение столкновений. Среднее число столкновение и среднее время свободного пробега молекул. Средняя длина свободного пробега молекул. Понятие физического вакуума.

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

Масса молекул Расстояние между молекулами Количества вещества

### Тема 4. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики.

#### **Вычисление вероятностей**

**практическое занятие (8 часа(ов)):**

Рейф задачи 2.1-2.15

**Тема 5. Статистический метод Микро- и макроскопические состояния системы.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Основные понятия теории вероятностей и математической статистики. Микро- и макроскопические состояния системы. Постулат равновероятности и эргодическая гипотеза. Вероятность макросостояния. Число возможных микроскопических состояний, его зависимость от энергии системы. Флуктуации.

**Тема 6. Статистический метод Тепловой контакт между системами**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Тепловой контакт между системами ? статистическое рассмотрение. Статистическое определение температуры. Система в контакте с термостатом. Каноническое распределение Гиббса. Распределение Максвелла и его свойства

**Тема 7. Статистический метод Свойства распределения Максвелла.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Каноническое распределение Гиббса. Распределение Максвелла и его свойства

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Рейф 2.16-20 Иродов задачи на распределения Максвелла Больцмана

**Тема 8. Газ во внешнем потенциальном поле.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Распределение Больцмана (непрерывное и дискретное). Универсальный характер распределения Больцмана. Барометрическая формула. Кинетические характеристики молекулярного движения. Распределение энергии по степеням свободы. Броуновское движение. Случайные блуждания. Распределение Максвелла-Больцмана.

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

Барометрическая формула

**Тема 9. Решение задач по квазистатическим изопроцессам в идеальных газах.**

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

Иродов 6.1-6.20

**Тема 10. Кинематические характеристики молекулярного движения.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Вывод теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Вывод уравнения по Эйнштейну. Вывод усреднением уравнения движения

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

Энергия идеального газа

**Тема 11. Термодинамический метод**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Первое начало термодинамики. Функции состояния. Обратимые и необратимые процессы. Изотермический и изобарический процессы в разреженных газах. Термодинамическое определение модели идеального газа. Квазистатические изопроцессы. Уравнение политропического процесса. Работы Карно по тепловым двигателям. Циклические процессы и тепловые (холодильные) машины. Принципы построения тепловых машин. КПД. Цикл Карно и его КПД. Второе начало термодинамики (формулировка Клаузиуса и Кельвина). Построение абсолютной термодинамической шкалы температур. Отрицательные температуры. Неравенство Клаузиуса. Термодинамическое определение энтропии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Статистическое определение энтропии. Энтропия как мера беспорядка. Связь между статистическим и термодинамическим определениями энтропии. Статистическая формулировка II начала термодинамики. Теорема Нернста (III начало термодинамики). Метод термодинамических потенциалов, преобразование Лежандра. Термодинамическая устойчивость. Принцип Ле Шателье-Брауна. Статистическая сумма состояний и термодинамические потенциалы.

**практическое занятие (10 часа(ов)):**

1 начало термодинамики. Теплоемкость. 2 начало термодинамики.

**Тема 12. Межмолекулярное взаимодействие**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннарда-Джонса. Химическая связь. Описание структуры и свойств вещества.

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

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса.

**Тема 13. Реальные газы и жидкост**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Особенности поведения реальных молекул (изотермическое сжатие, длина свободного пробега, отклонения от уравнения Клапейрона-Менделеева). Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальное уравнение состояния. Экспериментальные изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Сжижение газов. Пример фазового перехода газ-жидкость. Теоретические изотермы Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Критические параметры. Эффект Джоуля-Томсона. Расчет дифференциального и интегрального эффектов Джоуля-Томсона. Методы сжижения газов. Получение сверхнизких температур. Метод адиабатического размагничивания Основные свойства и характеристики жидкостей. Жидкие растворы (растворимость, теплоты растворения). Закон Рауля и закон Генри для идеальных растворов. Свойства бинарных смесей. Осмос. Структура жидкостей. Функции распределения. Уравнения состояния. Модель жидкости Френкеля.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Поверхностное натяжение. Критическое состояние.

**Тема 14. Фазовые переходы**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Определение фазы. Равновесие фаз. Классификация Эренфеста фазовых переходов. Правило Гиббса. Тройная точка. Полиморфизм и полиморфные превращения. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Сверхтекучесть и сверхпроводимость.

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

Уравнение Клайперона Клаузиуса.

**Тема 15. Твердые тела**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Признаки кристаллического состояния (анизотропия физических свойств, дальний порядок, фазовые переходы). Симметрия и элементы симметрии. Кристаллическая решетка и ее симметрия. Классификация кристаллов. Кристаллические классы и физические типы кристаллов. Тепловые свойства твердых тел. Теплоемкость, модель Эйнштейна, Эйнштейна-Дебая. Теорема Дебая. Тепловое расширение. Фазовые переходы I-го рода: кристаллизация, плавление, сублимация

**Тема 16. Процессы переноса**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Кинематические характеристики молекулярного движения (эффективное сечение рассеяния, длина свободного пробега). Общее определение и виды процессов переноса. Эмпирические законы для газов (закон Фика для диффузии, Ньютона для внутреннего трения, закон Фурье для теплопроводности). Процессы переноса в жидкостях и твердом теле. Процессы переноса в разреженных газах. Вакуум. Получение и измерение вакуума.

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

Решение задач на процессы переноса

**Тема 17. Современные материалы.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**



Жидкие кристаллы. Общая характеристика жидких кристаллов. Межмолекулярное взаимодействие и тепловые свойства жидких кристаллов. Использование жидких кристаллов в электронике. Полимеры. Общая характеристика и классификация. Новые материалы электроники.

### 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	2	1	подготовка к устному опросу	1	устный опрос
2.	Тема 2. Термодинамический метод - I	2	2	подготовка к устному опросу	1	устный опрос
3.	Тема 3. Основные параметры молекул и молекулярного движения	2	1	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
4.	Тема 4. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики. Вычисление вероятностей	2	2			
5.	Тема 5. Статистический метод Микро- и макроскопические состояния системы.	2	3	подготовка к устному опросу	1	устный опрос
6.	Тема 6. Статистический метод Тепловой контакт между системами	2	4	подготовка к устному опросу	1	устный опрос
7.	Тема 7. Статистический метод Свойства распределения Максвелла.	2	5			
8.	Тема 8. Газ во внешнем потенциальном поле.	2	6	подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
9.	Тема 9. Решение задач по квазистатическим изопроцессам в идеальных газах.	2	5,6	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
10.	Тема 10. Кинематические характеристики молекулярного движения.	2	7	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
11.	Тема 11. Термодинамический метод	2	8,9,10	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
12.	Тема 12. Межмолекулярное взаимодействие	2	11	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
13.	Тема 13. Реальные газы и жидкост	2	12	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				Решение задач	4	КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА
14.	Тема 14. Фазовые переходы	2	13	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
15.	Тема 15. Твердые тела	2	14	подготовка к коллоквиуму	1	коллоквиум
16.	Тема 16. Процессы переноса	2	15,16	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
17.	Тема 17. Современные материалы.	2	17,18	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
	Итого				42	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются следующие формы учебной работы: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

Лекционные занятия сопровождаются демонстрационными опытами, что позволяет студентам пронаблюдать и проанализировать изучаемые явления. Лекционные занятия проводятся с использованием мультимедийного комплекса, также позволяющего наглядно получать студентам всю необходимую информацию. Материалы курса лекций, список контрольных вопросов, задания для практических занятий и самостоятельной работы, а также методические материалы в форме ЭОР размещены в интернете на сайте Института Физики. Консультации проводятся в обозначенное в расписании время и в режиме "online".

## 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:

Расстояние между молекулами в газах и твердых телах. Масса молекул. Число Авогадро.

### Тема 2. Термодинамический метод - I

устный опрос , примерные вопросы:

Термодинамическое тело. Термометр. Нулевое начало термодинамики.

### Тема 3. Основные параметры молекул и молекулярного движения

домашнее задание , примерные вопросы:

Оценить число молекул воды на Земле. Оценить расстояние между молекулами зная плотность тела.

**Тема 4. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики.  
Вычисление вероятностей**

**Тема 5. Статистический метод Микро- и макроскопические состояния системы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Зависимость флуктуаций от размеров системы. Зависимость количества микросостояний от энергии системы.

**Тема 6. Статистический метод Тепловой контакт между системами**

устный опрос , примерные вопросы:

Среднее значение скорости, квадрата скорости. Как меняется поведение распределения Максвелла от температуры.

**Тема 7. Статистический метод Свойства распределения Максвелла.**

**Тема 8. Газ во внешнем потенциальном поле.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Вариант 1. 1. Динамический, статистический и термодинамические методы описания. Определение микро- и макросостояния. Равновесные состояния, постулат равновероятности микросостояний. 2. Цикл Карно выполняется с водой в качестве рабочего вещества, причем температура нагревателя равна  $6^\circ\text{C}$ , температура холодильника  $2^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплового расширения обычно положителен, т.е. при нагревании при постоянном давлении все тела обычно расширяются. В исключительных случаях коэффициент теплового расширения может быть отрицательным. В частности, такая ситуация наблюдается у воды при температурах ниже  $4^\circ\text{C}$ . Чтобы установить направление передачи тепла при изотермическом процессе, воспользуемся формулой (попробуйте доказать ее самостоятельно!): . В обычной ситуации при теплота изотермического сжатия отрицательна, т. е. при изотермическом сжатии необходимо отводить тепло от системы, а иначе система будет нагреваться. Поэтому в цикле Карно на изотерме с температурой  $6^\circ\text{C}$  при расширении рабочее тело (вода) поглощает тепло. На изотерме при температуре  $2^\circ\text{C}$  происходит сжатие, а так как в этом случае, этот процесс сопровождается поглощением тепла. Итак, приходим к выводу, что при выполнении указанного цикла Карно происходит только поглощение теплоты и превращение ее в работу, что противоречит второму началу термодинамики. Объяснить данное противоречие со вторым началом термодинамики. Вариант 2. 1. Число возможных микроскопических состояний, его зависимость от энергии системы. Биномиальное распределение, его свойства и физический смысл. 2. Показать, что если уравнение состояния имеет вид , то справедливо соотношение: , где - тепловой коэффициент давления при постоянном объеме, - температурный коэффициент объемного расширения при постоянном давлении, - изотермический коэффициент объемного сжатия. Вариант 3. 1. Тепловой контакт между системами ? термодинамическое рассмотрение. Эмпирические температурные шкалы. Идеальный газ и его свойства. Построение температурной шкалы идеального газового термометра. 2. Вычисление средних значений с помощью распределения Максвелла ? найти Вариант 4. 1. Тепловой контакт между системами ? рассмотрение в рамках статистического метода. Статистическое определение температуры. Система в контакте с термостатом, вывод канонического распределения Гиббса. 2. Для процесса, при котором параметр  $x$  сохраняется постоянным, доказать, что , где , а - удельные теплоемкости соответственно при постоянно значении  $x$ , при постоянном давлении и постоянном объеме. Вариант 5. 1. Первое начало термодинамики. Квазистатические изопроцессы. Уравнение политропического процесса. Зависимость внутренней энергии от температуры и объема. 2. Рассмотрим вертикальный столб воздуха бесконечной высоты и постоянного сечения. Вычислить его теплоемкость, считая воздух идеальным газом, находящимся в постоянном гравитационном поле. Вариант 6. 1. Второе начало термодинамики. Формулировки Томсона, Клаузиуса. Принципы построения тепловых машин. 2. В сосуде с равновесным максвелловским газом имеется очень маленькое отверстие, через которое молекулы вылетают в вакуум. Найти среднее значение скорости вылетевших молекул и среднее значение их кинетической энергии. Сравнить сначала качественно эти величины с данными для молекул в сосуде. Вариант 7. 1. Цикл Карно. Теорема Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур. 2. Принимая, что воздух, поднимаясь в атмосфере, расширяется как идеальный газ, определить изменение его температуры с высотой. На сколько уменьшается температура на высоте 1 км? Вариант 8. 1. Вывод распределений Максвелла и Больцмана. 2. Рассмотреть цикл Карно, в котором в качестве рабочего вещества используется тепловое излучение. Внутренняя энергия единицы объема излучения определяется законом Стефана-Больцмана , где - абсолютная температура (постоянная), а давление излучения определяется уравнением состояя

### **Тема 9. Решение задач по квазистатическим изопроцессам в идеальных газах.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.8 6.11 6.13

### **Тема 10. Кинематические характеристики молекулярного движения.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.71 6.79

### **Тема 11. Термодинамический метод**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.37 6.42 6.47 6.54 5.56 6.149 6.163 6.167 6.177

### **Тема 12. Межмолекулярное взаимодействие**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.22 6.24 6.57 6.63

### **Тема 13. Реальные газы и жидкость**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.304 6.315 6.320 6.308

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА , примерные вопросы:

Задачи подобные Иродов 6.303 6.310 6.317

### **Тема 14. Фазовые переходы**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.332 6.352

### **Тема 15. Твердые тела**

коллоквиум , примерные вопросы:

Вариант 1. 1. Термодинамическое определение энтропии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Теорема Клаузиуса. Метод термодинамических потенциалов, преобразование Лежандра. 2. Доказать, что у газа Ван дер Ваальса теплоемкость при постоянном объеме зависит только от температуры, и найти выражение для внутренней энергии и энтропии. Вариант 2. 1. Статистическое определение энтропии. Энтропия как мера беспорядка. Теорема Нернста. Связь между статистическим и термодинамическим определениями энтропии. Термодинамическая устойчивость. Принцип Ле-Шателье-Брауна. 2. Чтобы получить абсолютную температуру, нужно прокалибровать эмпирическую температуру  $\theta$ , измеренную с помощью газового термометра при постоянном давлении. Для этого необходимо при фиксированном давлении определить зависимость от  $\theta$  плотности газа  $\rho$ , теплоемкости и коэффициента Джоуля-Томсона. Вывести основную формулу для такой калибровки. Вариант 3. 1. Силы межмолекулярного взаимодействия. Газ Ван дер Ваальса: вывод уравнения состояния. Вириальное уравнение состояния. 2. Теплота плавления льда при 1 атм и  $0^\circ\text{C}$  равна  $q=1436.6$  кал/моль, а теплота испарения воды при 1 атм и  $100^\circ\text{C}$  равна  $q=9717.1$  кал/моль. Считая, что средняя теплоемкость воды при 1 атм между  $0^\circ\text{C}$  и  $100^\circ\text{C}$  равна  $18.046$  кал/град $\cdot$ моль, вычислить разность между энтропией 1 моль льда при 1 атм и  $0^\circ\text{C}$  и энтропией 1 моль пара при 1 атм и  $100^\circ\text{C}$ . Вариант 4. 1. Теоретические и экспериментальные изотермы газа Ван дер Ваальса. Правило рычага, метастабильные состояния. 2. Вывести уравнение адиабатического процесса для газа Ван дер Ваальса в предположении что теплоемкость газа при постоянном объеме  $\nu$  величина постоянная. Найти изменение температуры этого газа при его свободном расширении в вакуум. Вариант 5. 1. Свойства вещества в критическом состоянии. Вычисление параметров критического состояния для газа Ван дер Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван дер Ваальса. 2. Гей-Люссак произвел измерения температуры газа, испытывающего свободное расширение в вакуум. Записать уравнение, определяющее изменение температуры  $dT$  при свободном расширении газа от объема  $V$  до  $V+dV$ . Вариант 6. 1. Дифференциальный и интегральный эффект Джоуля-Томсона. Расчет для модели газа Ван дер Ваальса. 2. Вычислить изменение энтропии свободной энергии и термодинамического потенциала Гиббса при сжатии 1 моль идеального газа от 1 до 100 атм при  $20^\circ\text{C}$ . Вариант 7. 1. Адиабатическое расширение газа. Методы получения низких температур. 2. Рассмотреть все возможные процессы, с помощью которых тело с теплоемкостью  $C$  может охладиться путем отдачи тепла от температуры  $T_1$  до температуры  $T_0$  ( $T_0 < T_1$ ) теплового резервуара. Как добиться того, чтобы работа, совершаемая при этом процессе, была максимальной? Какова эта максимальная величина? Для простоты считать  $C$  константой.

### **Тема 16. Процессы переноса**

домашнее задание , примерные вопросы:

Иродов 6.203 6.218 6.221

### **Тема 17. Современные материалы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Жидкие кристаллы. Метаматериалы. Наноматериалы.

### **Итоговая форма контроля**

## экзамен

Примерные вопросы к экзамену:

Билеты к экзамену

### БИЛЕТ ♦ 1

1. Предмет молекулярной физики. Агрегатные состояния и фазы вещества. Методы описания явлений (динамический, статистический, термодинамический).
2. Метод термодинамических потенциалов, преобразование Лежандра.

### БИЛЕТ ♦ 2

1. Стационарные и равновесные состояния. Термодинамические параметры. Тепловой контакт между системами - термодинамическое рассмотрение. Термодинамическое определение температуры
2. Тепловые свойства твёрдых тел. Теплоёмкость, модель Эйнштейна, Эйнштейна-Дебая. Теорема Дебая. Тепловое расширение. Уравнения состояния.

### БИЛЕТ ♦ 3

1. Микро- и макроскопические состояния системы. Постулат равновероятности и эргодическая гипотеза. Флуктуации.
2. Теплоёмкость, внутренняя энергия идеального газа. Теплоёмкость идеального газа. Общие положения квантовой теории теплоёмкости газа.

### БИЛЕТ ♦ 4

1. Тепловой контакт между системами - статистическое рассмотрение. Статистическое определение температуры.
2. Структура жидкостей. Модель жидкости Френкеля.

### БИЛЕТ ♦ 5

1. Распределение Максвелла и его свойства
2. Первое начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы.

### БИЛЕТ ♦ 6

1. Газ во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
2. Жидкие кристаллы.

### БИЛЕТ ♦ 7

1. Распределение Максвелла-Больцмана. Кинетические характеристики молекулярного движения. Распределение энергии по степеням свободы.
2. Отрицательные температуры.

### БИЛЕТ ♦ 8

1. Изотермический и изобарический процессы в разреженных газах. Термодинамическое определение модели идеального газа. Квазистатические изопроцессы. Уравнение политропического процесса.
2. Основные свойства и характеристики жидкостей. Жидкие растворы. Закон Рауля и закон Генри для идеальных растворов.

### БИЛЕТ ♦ 9

1. Циклические процессы и тепловые (холодильные) машины. Принципы построения тепловых машин. Цикл Карно и его КПД.

## 2. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннард-Джонса.

### БИЛЕТ ♦ 10

1. Второе начало термодинамики. Построение абсолютной термодинамической шкалы температур. Неравенство Клаузиуса.
2. Признаки кристаллического состояния. Симметрия и элементы симметрии. Кристаллическая решётка. Классификация кристаллов. Кристаллические классы и физические типы кристаллов.

### БИЛЕТ ♦ 11

1. Термодинамическое определение энтропии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.
2. Полимеры. Общая характеристика и классификация.

### БИЛЕТ ♦ 12

1. Статистическая формулировка II начала термодинамики. Теорема Нернста. Связь между статистическим и термодинамическим определениями энтропии.
2. Кинематические характеристики молекулярного движения.

### БИЛЕТ ♦ 13

1. Метод термодинамических потенциалов, преобразование Лежандра.
2. Общее определение и виды процессов переноса. Эмпирические законы.

### БИЛЕТ ♦ 14

1. Термодинамическая устойчивость. Принцип Ле Шателье-Брауна.
2. Процессы переноса в жидкостях и твёрдом теле.

### БИЛЕТ ♦ 15

1. Молекулярно-кинетическая теория. Принцип детального равновесия. Основное уравнение кинетической теории. Закон Дальтона.
2. Броуновское движение. Случайные блуждания.

### БИЛЕТ ♦ 16

1. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннард-Джонса.
2. Определение фазы. Равновесие фаз. Классификация Эренфеста фазовых переходов. Правило Гиббса.

### БИЛЕТ ♦ 17

1. Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вирiales уравнение состояния.
2. Полиморфизм и полиморфные превращения. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Сверхтекучесть и сверхпроводимость.

### БИЛЕТ ♦ 18

1. Теоретические изотермы Ван-дер-Ваальса. Экспериментальные изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Метастабильные состояния.
2. Классификация кристаллов. Кристаллические классы и физические типы кристаллов.

### БИЛЕТ ♦ 19

1. Эффект Джоуля-Томсона. Методы сжижения газов. Получение сверхнизких температур. Метод адиабатического размагничивания.
2. Система в контакте с термостатом. Каноническое распределение Гиббса.

**БИЛЕТ ♦ 20**

1. Поверхностные явления.
2. Отрицательные температуры.

**БИЛЕТ ♦ 21**

1. Система в контакте с термостатом. Каноническое распределение Гиббса.
2. Броуновское движение.

**БИЛЕТ ♦ 22**

1. Неравенство Клаузиуса. Термодинамическое определение энтропии.
2. Жидкие растворы. Осмос.

**БИЛЕТ ♦ 23**

1. Термодинамическая устойчивость.
2. Микро- и макроскопические состояния системы. Постулат равновероятности и эргодическая гипотеза.

**БИЛЕТ ♦ 24**

1. Распределение Максвелла и его свойства
2. Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальное уравнение состояния.

**БИЛЕТ ♦ 25**

1. Второе начало термодинамики
2. Тепловые свойства твёрдых тел. Теплоёмкость, модель Эйнштейна, Эйнштейна-Дебая.

**7.1. Основная литература:**

1. Молекулярная физика учебное пособие / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин . - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008 . - 480 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=185](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=185)
2. Сборник вопросов и задач по общей физике. Раздел 5. Молекулярная физика: Учебное пособие / Казанцева А.Б., Соина Н.В., Гольцман Г.Н. - М.:МПГУ, 2012. - 144 с.: ISBN 978-5-7042-2340-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/757792>
3. Механика и молекулярная физика: Учебное пособие / Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. - 4-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2014. - 400 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-91559-177-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=500638>
4. Молекулярная физика. Задачи и решения: Учебное пособие / Казанцева А.Б. - М.:МПГУ, 2014. - 240 с.: ISBN 978-5-4263-0146-7 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/757796>

**7.2. Дополнительная литература:**

1. Общий курс физики: Учебное пособие для вузов: В 5 томах Том 2: Термодинамика и молекулярная физика / Сивухин Д.В., - 6-е изд., стер. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 544 с.: 60x90 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-9221-1514-8 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/470190>
2. Иродов, И. Е. Физика макросистем. Основные законы [Электронный ресурс] : учебное пособие / И. Е. Иродов. - 4-е изд. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 207 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4393](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4393)



3. Физика. Базовый курс. Часть 1: Учебное пособие / Повзнер А.А., Андреева А.Г., Шумихина К.А., - 2-е изд. - М.:Флинта, 2017. - 168 с.: ISBN 978-5-9765-3216-8 - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=958555>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Лабораторные работы -

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-obschej-fiziki/fizicheskij-praktikum/praktikum-po-molekulyar>

Методическое пособие - <http://kpfu.ru/docs/F1428869461/termodinamika.doc>

Мичиганский университет - [www.coursera.org/course/introthermodynamics](http://www.coursera.org/course/introthermodynamics)

термодинамика - <https://www.edx.org/course/iitbombayx/iitbombayx-me209x-thermodynamics-1384>

Электронные образовательные ресурсы - <https://www.khanacademy.org/>

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

Освоение дисциплины "Молекулярная 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 "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Аудитория с мультимедийным оборудованием, демонстрационный кабинет, аудитория для практических занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Налетов В.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.