

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 12.07.2024 11:19:35  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

## Молекулярная физика

Закреплена за  
кафедрой:

**Общей физики**

Направление  
подготовки:

**03.03.03 Радиофизика**

Направленность  
(профиль):

**Материалы и устройства радиоэлектроники  
(беспилотные системы, программно-аппаратные)**

Квалификация:

**Бакалавр**

Форма обучения:

**очная**

Семестр:

**2**

Программу составил(и):

*канд. физ.-мат. наук, доц., Новоселов Анатолий Рафаилович*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является: создание фундаментальной базы знаний по молекулярной физике, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики и специализированных курсов.

### Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных физических моделей и процессов в рамках молекулярной физики;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений;
- постановка и анализ задач, применение различных методов решения

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

В курсе излагаются базовые, но, в то же время, фундаментальные представления о термодинамике, молекулярной физике и физической кинетике, на основе которых в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики и специализированных курсов. Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины: Иметь представление об основных понятиях и законах молекулярной физики в рамках программы средней школы; Знать алгебру, геометрию и основы математического анализа в рамках программы средней школы. Некоторые элементы математического анализа и алгебры, не входящие в школьный курс, вводятся по мере необходимости.

Математический анализ

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Термодинамика и статистическая физика

Физика конденсированного состояния вещества

Электричество и магнетизм

Атомная физика

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	72
самостоятельная работа	45
часов на контроль	27

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Обладает базовыми знаниями в области физики и радиофизики

ОПК-2.2: Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

### 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	2

### 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

### 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Предмет молекулярной физики. Основные понятия термодинамики.					
1.1	Термодинамический и статистический методы изучения макроскопических систем. Термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Температура. Термометрия. Термодинамические параметры. Уравнение состояния.	Лек	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.2	Термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Температура. Термометрия. Термодинамические параметры. Уравнение состояния.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.3	Внутренняя энергия, работа, теплота. Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Применение первого закона термодинамики к процессам в идеальном газе. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.4	Внутренняя энергия, работа, теплота. Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Применение первого закона термодинамики к процессам в идеальном газе. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	

1.5	Циклы. Тепловые и холодильные машины. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Постулаты Томсона и Клаузиуса. Обратимые и необратимые процессы. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.6	Циклы. Тепловые и холодильные машины. Цикл Карно. Второй закон термодинамики.	Пр	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.7	Равенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Фундаментальное соотношение Гиббса. Термодинамические функции. Третий закон термодинамики.	Лек	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.8	Равенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Фундаментальное соотношение Гиббса. Термодинамические функции. Третий закон термодинамики.	Пр	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.9	Теплопроводность. Закон Фурье. Простейшие стационарные задачи теплопроводности. Выравнивание температур.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.10	Теплопроводность. Закон Фурье. Простейшие стационарные задачи теплопроводности. Выравнивание температур.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
1.11	Термодинамический метод.	Ср	2	10	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
	Раздел 2. Статистические представления в молекулярной физике					
2.1	Межмолекулярные взаимодействия. Модель идеального газа. Давление газа. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость идеальных газов и твердых тел. Броуновское движение	Лек	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	

2.2	Модель идеального газа. Давление газа. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость идеальных газов и твердых тел.	Пр	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.3	Распределение молекул по скоростям	Пр	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.4	Распределение молекул по скоростям. Функции распределения Максвелла. Распределение молекул по абсолютным значениям скорости. Характерные скорости. Экспериментальная проверка распределения Максвелла. Столкновения молекул со стенкой сосуда.	Лек	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.5	Молекулы в силовом поле. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Связь распределений Больцмана и Максвелла.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.6	Распределение Больцмана.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.7	Статистический смысл энтропии. Флуктуации. Зависимость относительной флуктуации от числа молекул	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.8	Флуктуации. Зависимость относительной флуктуации от числа молекул	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
2.9	Распределения Максвелла и Больцмана.	Ср	2	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
	Раздел 3. Явления переноса					
3.1	Явления переноса в газах. Средняя длина свободного пробега молекул. Молекулярно-кинетическая оценка коэффициентов переноса в газах. Явления в разреженных газах.	Лек	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	

3.2	Молекулярно-кинетическая оценка коэффициентов переноса в газах.	Пр	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
3.3	Диффузия, теплопроводность и внутреннее трение	Ср	2	9	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
	Раздел 4. Фазовые переходы и поверхностные явления					
4.1	Фазовые переходы. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Понятие о фазовых переходах второго рода	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
4.2	Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы. Тройная точка.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
4.3	Граница раздела фаз. Поверхностное натяжение. Формула Лапласа. Смачивание. Капиллярные явления. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости. Метастабильные состояния.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
4.4	Формула Лапласа. Смачивание. Капиллярные явления. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
4.5	Поверхностные явления.	Ср	2	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
	Раздел 5. Твердые тела					
5.1	Твердые тела. Основные свойства кристаллов. Кристаллическая решетка. Элементы симметрии кристаллов. Дефекты в кристаллах.	Лек	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
5.2	Элементы симметрии кристаллов.	Пр	2	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	

5.3	Статистический и термодинамический подходы при описании твердого тела	Ср	2	12	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	
	Раздел 6. Контроль					
6.1	Проверочные работы и экзамен	Экзамен	2	27	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4	

### Образовательные технологии

классические лекции, решение групповых и индивидуальных задач.

### Список образовательных технологий

1	Активное слушание
---	-------------------

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. приложение

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

см. приложение

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

Всего студент может получить 100 баллов = 60 баллов на модули + 40 баллов на экзамене

В каждом модуле студент может получить максимум 30 баллов, из них 20 баллов за текущую работу, а 10 баллов – за рейтинговый контроль.

Обучающемуся, набравшему 40–54 балла, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в рейтинговой ведомости учета успеваемости и зачетной книжке может быть выставлена оценка «удовлетворительно».

Обучающемуся, набравшему 55–57 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премиальные баллы» может быть добавлено 15 баллов и выставлена экзаменационная оценка «хорошо».

Обучающемуся, набравшему 58–60 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премиальные баллы» может быть добавлено 27 баллов и выставлена экзаменационная оценка «отлично».

Обучающийся, набравший до 39 баллов включительно, сдает экзамен.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Новоселов, Медведева А. Г., Грушичев Ю. Г., Пастушенков, Лекции по общей физике. Молекулярная физика и термодинамика, Тверь: Тверской государственный университет, 2022, ISBN: , URL: <a href="http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462818">http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&amp;ids=5462818</a>

Л1.2	Сивухин, Общий курс физики, Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2014, ISBN: 978-5-9221-1514-8, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=303206">https://znanium.com/catalog/document?id=303206</a>
Л1.3	Савельев И. В., Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-48093-7, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/341150">https://e.lanbook.com/book/341150</a>
Л1.4	Савельев И. В., Молекулярная физика и термодинамика, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-9197-1, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/187739">https://e.lanbook.com/book/187739</a>

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС «Лань»
5	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-202б	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, переносной мультимедийный проектор, экран

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

См. приложение



Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

**УК-1.** Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

Для всех индикаторов один способ аттестации:

**Задание:** Решить задачу: Постоянная температура  $t_1 = 18$  °С в комнате поддерживается электронагревателем мощности  $N = 500$  Вт. Температура воздуха снаружи  $t_2 = -21$  °С. Для поддержания в комнате той же температуры можно использовать вместо электронагревателя тепловой насос (тепловая машина, работающая по холодильному циклу). Какую минимальную мощность  $N'$  будет потреблять от электросети тепловой насос, работающий с максимально возможной эффективностью?

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:** • Высокий уровень (3 балла по каждому критерию): Понимает физические принципы работы тепловых машин. Может найти формулу для расчета мощности теплового насоса. Получает решение;

Средний уровень (2 балла по каждому критерию): Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу для расчета мощности. Неуверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения. Получает решение;

Низкий уровень (1 балл по каждому критерию): Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает основные формулы. С трудом применяет их, записывая необходимые соотношения.

**ОПК-1.** Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности:

ОПК-1.1. Применяет базовые знания в области физико-математических наук для решения задач профессиональной деятельности.

**Задание:** Решите задачу: Идеальный газ сжимается под поршнем в цилиндре так, что уходящее в окружающую среду тепло равно изменению внутренней

энергии газа. Определите работу, затраченную на сжатие одного моля газа при изменении объема в два раза. Чему равна теплоемкость в этом процессе? Начальная температура газа равна  $T_0$ .

**Способ аттестации:** письменный.

**Критерии оценки:** • Высокий уровень (3 балла по каждому критерию): Понимает физику явления. Умеет вычислять изменения термодинамических величин в тепловых процессах. Получен правильный ответ;

Средний уровень (2 балла по каждому критерию): Понимает физику явления. Производит вычисления термодинамических величин в простейших случаях. Получен правильный ответ.

Низкий уровень (1 балл по каждому критерию): Понимает физику явления. Неуверенно вычисляет изменения термодинамических величин в тепловых процессах. Получен неточный ответ.

ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные:

ОПК-2.2. Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования.

**Задание:** Решите задачу: Напишите выражение для доли ( $dN/N$ ) молекул газа, кинетические энергии поступательного движения которых при температуре  $T$  заключены между  $\varepsilon$  и  $\varepsilon + d\varepsilon$ . Найдите наивероятнейшее значение этой энергии  $\varepsilon_m$ .

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:** • Высокий уровень (3 балла по каждому критерию): Понимает математический аппарат квантовой теории, и записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ;

Средний уровень (2 балла по каждому критерию): Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ;

Низкий уровень (1 балл по каждому критерию): Понимает математический аппарат квантовой теории, и с трудом записывает основные соотношения квантовой механики. Получает неправильный ответ.

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

– планы практических (семинарских) занятий:

Семинар 1: Решение задач на тему «Уравнение состояния термодинамической системы. Уравнение Клапейрона-Менделеева».

Примеры задач:

1. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа. Температура у поверхности планеты около  $t = 500\text{ }^\circ\text{C}$ , а давление около  $p = 100\text{ атм}$ . Какой объем должен иметь исследовательский зонд массой  $m=1\text{ т}$ , чтобы плавать в нижних слоях атмосферы Венеры?

2. Определите наименьшее возможное давление идеального газа в процессе, при котором  $T = T_0 + \alpha V^2$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  положительные постоянные,  $V$  – объем моля газа.

Семинар 2: Решение задач на тему «Первое начало термодинамики. Применение первого закона термодинамики к процессам в идеальном газе»

Примеры задач:

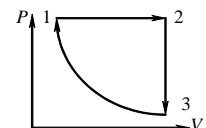
1. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону  $PV^2 = const$ ? Какова его молярная теплоемкость в этом процессе?

2. Идеальный газ сжимается под поршнем в цилиндре так, что уходящее в окружающую среду тепло равно изменению внутренней энергии газа. Определите работу, затраченную на сжатие одного моля газа при изменении объема в два раза. Чему равна теплоемкость в этом процессе? Начальная температура газа равна  $T_0$ .

Семинар 3: Решение задач на тему «Циклы. Тепловые и холодильные машины».

Примеры задач:

1. На рисунке изображен обратимый цикл, выполняемый молям идеального газа в некоторой тепловой машине. Найдите работы  $A_{ij}$ , выполняемые машиной на каждом этапе цикла;



количества тепла  $Q_{ij}$ , получаемые газом на каждом этапе и КПД цикла, выразив его как функцию температур  $T_1, T_2, T_3$ . Процесс 31 – адиабатический.

2. Один моль идеального одноатомного газа ( $C_V = 3R/2$ ), занимающего объем  $V_1$  при давлении  $P_1$ , расширяется при постоянном давлении до объема  $2V_1$ , потом сжимается в политропическом процессе до объема  $V_1/2$  и давления  $P_1/4$ , затем изотермически расширяется до исходного объема  $V_1$ . Цикл завершается повышением давления при постоянном объеме. Найдите КПД цикла.

Семинар 4: Решение задач на тему: «Второй закон термодинамики. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии».

Примеры задач:

1. Вычислите изменения внутренней энергии и энтропии одного моля идеального газа при расширении по политропе  $PV^n = const$  от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ . Рассмотрите частные случаи изотермического и адиабатического процессов.

2. При очень низких температурах теплоемкость кристаллов  $C = \alpha T^3$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найдите энтропию кристалла как функцию температуры в этой области.

Семинар 5: Решение задач на тему: «Теплопроводность. Стационарные задачи теплопроводности. Выравнивание температур».

Примеры задач:

1. Найдите распределение температуры в пространстве между двумя концентрическими сферами с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , заполненном проводящим тепло однородным веществом, если температуры сфер равны  $T_1$  и  $T_2$ .

2. По однородному цилиндрическому проводу радиуса  $R$  без изоляции течет постоянный электрический ток  $J$ . Определите стационарное распределение температуры в проводе, если его поверхность поддерживается при постоянной температуре  $T_0$ . Коэффициент теплопроводности провода  $k$ , удельное сопротивление  $\rho$  можно считать не зависящим от температуры.

Семинар 6: Решение задач на тему: «Модель идеального газа. Давление газа. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Теплоемкость идеальных газов и твердых тел».

Примеры задач:

1. Вакуумные насосы позволяют получать давления до  $P = 4 \cdot 10^{-10}$  Па (при комнатной температуре). Найдите число молекул газа  $n$  в  $1 \text{ см}^3$  и среднее расстояние  $r$  между ними при этом давлении.

2. Какова будет средняя кинетическая энергия вращательного движения молекулы водорода, если первоначально он находился при нормальных условиях, а затем был адиабатически сжат в 32 раза?

Семинар 7: Решение задач на тему: «Распределение молекул по скоростям. Функции распределения Максвелла».

1. Найдите для азота при  $T = 300 \text{ К}$  отношение числа молекул  $dN_1$  с компонентами скорости вдоль оси  $x$  в интервале  $300 \pm 0,31 \text{ м/с}$  к числу молекул  $dN_2$  с компонентами скорости в интервале  $500 \pm 0,51 \text{ м/с}$ .

2. Найдите долю молекул  $\alpha_1$ , компоненты скорости которых, параллельные некоторой оси, лежат в интервале  $(v_{//}, v_{//} + dv_{//})$ , а модули перпендикулярной составляющей скорости заключены между  $v_{\perp}$  и  $v_{\perp} + dv_{\perp}$ . Какая часть молекул  $\alpha_2$  удовлетворяет только второму условию?

Семинар 8: Решение задач на тему: «Распределение молекул по абсолютным значениям скорости. Характерные скорости».

Примеры задач:

1. Найдите  $\langle 1/v \rangle$  – среднее значение обратной скорости молекул идеального газа при температуре  $T$ , если масса каждой молекулы равна  $m$ . Сравните полученную величину с обратной величиной средней скорости.

2. Напишите выражение для доли  $(dN/N)$  молекул газа, кинетические энергии поступательного движения которых при температуре  $T$  заключены между  $\varepsilon$  и  $\varepsilon + d\varepsilon$ . Найдите наиболее вероятное значение этой энергии  $\varepsilon_m$ .

Семинар 9: Решение задач на тему: « Столкновения молекул со стенкой сосуда».

Примеры задач:

1. В тонкостенном сосуде объема  $V$ , стенки которого поддерживаются при постоянной температуре, находится идеальный газ. Сосуд помещен в вакуум. Как будет меняться с течением времени концентрация молекул  $n$  газа внутри сосуда, если в его стенке сделать очень малое отверстие площади  $S$ . Определите время  $t_{1/2}$ ,

по истечении которого давление газа внутри сосуда уменьшится в два раза. Начальная концентрация  $n_0$ .

2. В тонкостенном сосуде, помещенном в вакууме, имеется очень малое отверстие, на которое извне направляется параллельный пучок одноатомных молекул, летящих с одной и той же скоростью  $v_0$ , перпендикулярной площади отверстия. Концентрация молекул в пучке равна  $n_0$ . Найдите среднюю скорость  $\langle v \rangle$ , концентрацию молекул  $n$  и температуру  $T$  газа в сосуде в установившемся равновесном состоянии.

Семинар 10: Решение задач на тему: «Распределение Больцмана. Связь распределений Больцмана и Максвелла».

Примеры задач:

1. Азот находится в очень высоком сосуде в однородном поле тяжести при температуре  $T$ . Температуру увеличили в  $\eta$  раз. На какой высоте  $h$  концентрация молекул азота осталась прежней?

2. Цилиндр радиуса  $R$  и высоты  $H$ , содержащий идеальный газ, равномерно вращается в однородном поле тяжести вокруг своей геометрической оси с угловой скоростью  $\omega$ . Найдите распределение концентрации молекул газа  $n(r, z)$  внутри цилиндра, если его ось направлена вертикально. Масса одной молекулы  $m$ , полное число молекул  $N$ .

Семинар 11: Решение задач на тему: «Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия реального газа».

Примеры задач:

1. Найдите выражение для изотермической сжимаемости  $\gamma_T$  и коэффициента объемного расширения  $\alpha$  газа Ван-дер-Ваальса.

2. Моль азота расширяется в пустоту от начального объема  $V_1 = 1$  л до конечного  $V_2 = 10$  л. Найдите понижение температуры  $\Delta T$  при таком процессе, если постоянная  $a$  в уравнении Ван-дер-Ваальса для азота равна  $1,35 \cdot 10^6$  атм·см<sup>6</sup>/моль<sup>2</sup>.

Семинар 12: Решение задач на тему: «Эффект Джоуля-Томсона»

Примеры задач:

1. Найдите изменение энтропии в процессе Джоуля-Томсона.

2. Покажите, что газ, подчиняющийся уравнению Ван-дер-Ваальса, с  $a = 0$  в опыте Джоуля – Томсона всегда нагревается, а с  $b = 0$  – всегда охлаждается. Выразите  $\Delta T$  через  $\Delta P$ , считая, что  $|\Delta P| \ll P$ .

Семинар 13: Решение задач на тему: «Граница раздела фаз. Поверхностное натяжение.».

Примеры задач:

1. Как велико поверхностное натяжение  $\sigma$  жидкости, если петля из резинового шнура длиной  $L$  с поперечным сечением  $S$ , положенная на пленку этой жидкости, растянулась в окружность радиуса  $R$  после того, как пленка была проколота внутри петли? Считайте, что при малых растяжениях для резины справедлив закон Гука, и модуль Юнга резины равен  $E$ .

2. Капля несжимаемой жидкости совершает пульсационные колебания, становясь последовательно вытянутой, сферической, сплюснутой, сферической, снова вытянутой и т.д. Как зависит период этих пульсаций  $T$  от плотности  $\rho$ , поверхностного натяжения  $\sigma$  и радиуса капли  $r$ ?

Семинар 14: Решение задач на тему: «Формула Лапласа. Капиллярные явления. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости.».

Примеры задач:

1. Какова разность уровней жидкости в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ ? Поверхностное натяжение жидкости равно  $\sigma$ . Краевые углы менисков равны нулю. Плотность жидкости равна  $\rho$ .

2. Грамм ртути помещен между двумя плоскими стеклянными пластинками. Какую силу  $F$  надо приложить к верхней пластинке, чтобы ртуть приняла форму круглой лепешки однородной толщины и радиуса  $R = 5$  см. Поверхностное натяжение ртути (при  $15^\circ\text{C}$ )  $\sigma = 487$  дин/см, краевой угол между ртутью и стеклом  $\theta = 140^\circ$ .

– *сборники задач:*

1. «Сборник задач по общему курсу физики». Часть 2. Термодинамика и молекулярная физика. Под ред. Д.В. Сивухина. М.: Физматлит, 2006.

2. «Сборник задач по общему курсу физики». Часть 1. Механика. Термодинамика и молекулярная физика. Под ред. В.А. Овчинкина. М.: Изд-во МФТИ, 2004

3. Иродов И.Е. «Задачи по общей физике». М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 1998.

*– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:*

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

*Требования к рейтинг-контролю.* В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:

#### Модуль 1

1. Типы термодинамических систем. Термодинамическое равновесие. Температура.
2. Параметры состояния термодинамических систем. Уравнение состояния.
3. Первое начало термодинамики.
4. Первое начало термодинамики для идеальных газов.
5. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.
6. Связь модулей объемной упругости с теплоемкостями.
7. Циклы. Тепловые и холодильные машины.
8. Цикл Карно. КПД цикла Карно для идеального газа.
9. Второе начало термодинамики. Постулаты Томсона и Клаузиуса.
10. Обратимые и необратимые процессы. Теорема Карно.
11. Термодинамическая шкала температур.
12. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса (пример использования теоремы Карно).
13. Равенство Клаузиуса. Энтропия.



14. Процессы на T-S диаграмме.
15. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии.
16. Термодинамические функции.
17. Примеры применения метода термодинамических функций  $[(\partial U/\partial V)_T, (\partial H/\partial P)_T, C_p - C_v]$ .
18. Третье начало термодинамики (теорема Нернста).
19. Эффект Джоуля – Томсона.
20. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал.
21. Критерии равновесия термодинамических систем.
22. Условия равновесия 2-х фазной однокомпонентной системы.

## Модуль 2

1. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности.
2. Простейшие стационарные задачи теории теплопроводности.
3. Выравнивание температур. Внешняя теплопередача.
4. Межмолекулярные взаимодействия. Модель идеального газа.
5. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы.
6. Теплоемкости идеальных газов и твердых тел.
7. Броуновское движение.
8. Распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла).
9. Распределение молекул по абсолютным значениям скорости. Характерные скорости.
10. Столкновения молекул со стенкой сосуда.
11. Экспериментальная проверка закона распределения скоростей Максвелла.
12. Распределение Больцмана.
13. Опыты Перрена по определению числа Авогадро.
14. Статистический смысл энтропии.
15. Флуктуации.
16. Флуктуации концентрации. Биномиальное распределение. Распределение Пуассона.
17. Процессы переноса в газах. Теплопроводность, вязкость, диффузия.
18. Столкновения молекул. Средняя длина свободного пробега молекул в газах.

- 19.Молекулярно-кинетическая оценка коэффициентов переноса в газах.
- 20.Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
- 21.Эффект Джоуля-Томсона для газа Ван-дер-Ваальса.
- 22.Изотермы реального газа. Критическая точка.
- 23.Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Диаграммы состояния.
- 24.Граница раздела фаз. Поверхностное натяжение.
- 25.Разность давлений на искривлённой межфазной границе. Формула Лапласа.
- 26.Краевые углы. Смачивание. Капиллярные явления.
- 27.Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости. Метастабильные состояния.
- 28.Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы второго рода.