

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

**ПЛАН**

**ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА**

**«МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА»**

**КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

**Москва 2024**

**ПЛАН ЛЕКЦИЙ**  
**(весна 2024, 2 поток)**  
**Лектор - профессор Ю.А.Кокшаров**

Лекции 1-2.

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Статистический подход к изучению молекулярных явлений. Основы комбинаторики и теории вероятностей. Биномиальное распределение. Распределения Пуассона и Гаусса, как предельные случаи биномиального распределения.

Лекции 3-4.

Модель идеального газа в молекулярно-кинетической теории. Уравнение Менделеева – Клапейрона. Газовые законы. Закон Дальтона.

Распределение Максвелла для скоростей молекул равновесного идеального газа. Принцип детального равновесия. Распределение молекул по компонентам скоростей. Наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости молекул. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Явление эффузии.

Лекция 5.

Распределение Больцмана для пространственного равновесного распределения молекул идеального газа во внешнем потенциальном поле. Барометрическая формула. Опыты, подтверждающие распределения Максвелла и Больцмана.

Лекция 6.

Понятие о макро- и микросостоянии молекулярной системы. Эргодическая гипотеза. Степени свободы молекулярной системы. Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии теплового движения по степеням свободы. Применение теоремы Больцмана к классической теории теплоемкости газов.

Лекция 7.

Поступательное и вращательное броуновское движение. Вывод формулы для среднего квадрата смещения броуновской частицы в модели одномерных случайных блужданий. Формула Эйнштейна для поступательного броуновского движения. Опыты Перрена по изучению броуновского движения.

Лекция 8.

Столкновения молекул в газе. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газокинетический диаметр. Рассеяние молекулярных пучков в газе. Особенности строения и молекулярно-кинетические характеристики жидкостей и твердых тел.

Опыт Борна и Борман по определению средней длины свободного пробега молекул газа.

## Лекция 9.

Понятие о процессах переноса. Молекулярные процессы переноса. Диффузия. Закон Фика. Теплопроводность. Закон Фурье. Внутреннее трение (перенос импульса). Закон Ньютона для вязкого трения. Понятие о неньютоновской жидкости. Стационарные явления переноса.

## Лекция 10.

Элементарная молекулярно-кинетическая теория явлений переноса. Связь коэффициентов переноса в газах с молекулярно-кинетическими характеристиками. Число Шмидта и число Прандтля.

Нестационарные явления переноса. Уравнения теплопроводности и диффузии, зависящие от времени. Время релаксации.

## Лекция 11.

Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Виды термодинамических систем. Основное и нулевое начала термодинамики. Уравнение равновесного состояния. Эмпирические температурные шкалы. Квазистатические процессы. Законы идеального газа. Первое начало термодинамики. Его применение к квазистатическим процессам в идеальном газе. Термическое и калорическое уравнение состояния.

## Лекция 12.

Термодинамические коэффициенты. Зависимость размеров тел от температуры. Теплоемкость термодинамической системы. Виды теплоемкости. Уравнение Майера. Политропические процессы.

Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Понятие о моделях теплоемкости твердых тел Эйнштейна и Дебая.

## Лекция 13.

Взаимные преобразования теплоты и работы. Опыт Джоуля по измерению механического эквивалента теплоты.

Тепловая и холодильная машина. Циклические процессы. Нагреватель, рабочее тело, холодильник. Коэффициент полезного действия. Идеальный цикл Карно и его КПД. Примеры реальных тепловых машин.

## Лекция 14.

Обратимые и необратимые процессы. Две теоремы Карно. Второе начало термодинамики. Формулировки Клаузиуса и Томсона (лорда Кельвина) и их эквивалентность. Равенство Клаузиуса. Термодинамическая шкала температур. Абсолютная температурная шкала. Неравенство Клаузиуса.

## Лекция 15.

Энтропия как функция равновесного состояния термодинамической системы. Изменение энтропии в обратимых процессах. Закон неубывания энтропии в изолированной системе. Энтропия идеального газа. Статистическая трактовка энтропии. Термодинамическая вероятность. Формула Больцмана для энтропии. Третье начало термодинамики и его следствия.

## Лекция 16.

Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла. Термодинамические тождества. Условия устойчивости термодинамической системы. Экстремальность термодинамических потенциалов в состоянии равновесия.

## Лекция 17.

Виды сил межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда-Джонса. Особенности межмолекулярных взаимодействий в газах, жидкостях и твердых телах.

Реальные газы. Изотермы реальных газов. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Критическое состояние и критические параметры. Явление критической опалесценции.

## Лекция 18.

Газ Ван-дер-Ваальса и его уравнения состояния. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критическая точка газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний. Расширение в вакуум идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса.

## Лекция 19.

Агрегатные состояния вещества. Фазовые диаграммы состояний. Тройная точка. Методы получения низких температур. Интегральный и дифференциальный эффект Джоуля - Томсона. Температура инверсии эффекта Джоуля - Томсона.

## Лекция 20.

Фазовые переходы и использование термодинамического потенциала Гиббса для их классификации. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Скрытая теплота перехода первого рода. Фазовые переходы второго рода по Эренфесту. Уравнения Эренфеста. Непрерывные фазовые переходы.

## Лекция 21.

Жидкости. Поверхностные явления. Коэффициент поверхностного натяжения. Смачивание и несмачивание. Капиллярные явления. Краевой угол. Формула Лапласа.

## Лекция 22.

Кристаллы. Симметрия кристаллов. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Ячейка Браве. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Точечные и протяженные дефекты в кристаллах. Понятие о жидких кристаллах.

## ПЛАН СЕМИНАРОВ

Семинар 1. Основные понятия теории вероятностей. Элементы комбинаторики.

Семинар 2. Биномиальное распределение.

Семинар 3. Распределения Пуассона и Гаусса.

Семинар 4-6. Распределение Максвелла (по модулю скорости, проекциям скорости, энергии). Характерные скорости теплового движения молекул газа. Частота ударов молекул о стенку сосуда. Давление газа. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Закон Дальтона. Эффузия.

Семинар 7. Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии теплового движения по степеням свободы. Броуновское движение.

Семинар 8. Контрольная работа по семинарам 1-7.

Семинар 9-10. Распределение Больцмана для идеального газа в гравитационном поле и поле сил инерции.

Семинар 11. Молекулярно-кинетические характеристики газов, жидкостей и твердых тел.

Семинар 12. Стационарные явления переноса.

Семинар 13. Коэффициенты диффузии, вязкости и теплопроводности в элементарной теории переноса для газов.

Семинар 14. Нестационарные явления переноса. Время релаксации.

Семинар 15. Контрольная работа по семинарам 9-14.

Семинар 16. Первое начало термодинамики. Основные составляющие уравнения энергетического баланса.

Семинар 17. Квазистатические процессы в идеальном газе.

Семинар 18. Теплоемкость. Политропические процессы.

Семинар 19. Циклические квазистатические процессы (циклы).

Семинар 20. Второе начало термодинамики. Энтропия.

Семинар 21-22. Энтропия и внутренняя энергия как термодинамические функции. Применение T-S диаграмм для анализа циклов и расчета КПД тепловых машин. Изменение энтропии в необратимых процессах.

Семинар 23. Контрольная работа по семинарам 16-22.

Семинар 24. Реальные газы и жидкости. Уравнение и изотермы Ван-дер-Ваальса. Критические параметры.

Семинар 25. Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла.

Семинар 26. Методы получения низких температур. Дифференциальный и интегральный эффект Джоуля – Томсона.

Семинар 27. Поверхностные явления. Уравнение Лапласа.

Семинар 28-29. Фазовые переходы. Изменение термодинамических потенциалов при фазовых переходах. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.

Семинар 30. Контрольная работа по семинарам 24-29.

## **ЛИТЕРАТУРА**

### **Учебники и учебные пособия**

1. Алешкевич В.А. Молекулярная физика, М. Физматлит, 2016
2. Рейф Ф. Статистическая физика. М., Наука, 1986.
3. Телеснин Р.В. Молекулярная физика. М., Высшая школа, 1973.
4. Базаров И.П. Термодинамика. М., Высшая школа, 1991.
5. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М., Высшая школа, 1987.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.II. Термодинамика и молекулярная физика. М., Наука, 1990.
7. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. М., Наука, 1976.
8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.4. Кинетика, теплота, звук. М., Мир, 1977.
9. Киттель Ч. "Статистическая термодинамика" М.Наука, 1977

### **Сборники задач**

1. Васильева О.Н., Салецкий А.М. Молекулярная физика и термодинамика. Сборник задач. М., Физический факультет МГУ, 2023.
2. Миронова Г.А., Брандт Н.Н., Салецкий А.М. Молекулярная физика и термодинамика. Методика решения задач. М., Физический факультет МГУ, 2017.
3. Сборник задач по общему курсу физики. Термодинамика и молекулярная физика. Под ред. Д.В. Сивухина. М., Физматлит, 2006.
4. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. СПб, Лань, 2005.