

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ПЛАН

ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА

«МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА»

КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Москва 2026

ПЛАН ЛЕКЦИЙ

Лекция 1. Представление об атомном строении вещества – основа современной физики. Главные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ). Моль как единица измерения количества вещества.

Термодинамический и статистический подходы к изучению макросистем. Понятия «равновесное состояние» и «температура». Модель идеального газа в МКТ и в термодинамике.

Случайные величины и их математическое описание. Среднее значение, дисперсия и флуктуация случайной величины.

Лекция 2. Биномиальное распределение. Распределения Пуассона и Гаусса, как предельные случаи биномиального распределения. Примеры применения биномиального распределения в МКТ. Распределение молекул идеального газа в пространстве. Флуктуации плотности. Модель одномерных случайных блужданий и диффузионное движение.

Лекция 3. Распределение Максвелла для скоростей молекул равновесного идеального газа. Пространство скоростей. Распределение молекул по компонентам скорости, по вектору скорости и по модулю скорости. Наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости молекул. Принцип детального равновесия. Основное уравнение МКТ. Эксперименты по проверке распределения Максвелла. Явление эффузии.

Лекция 4. Понятие о «фазовом пространстве» макросистемы. Микро- и макросостояния макросистемы. Термодинамическая вероятность макросостояния. Гипотеза равновероятности микросостояний. Наиболее вероятное (равновесное) состояние идеального газа. Распределение Больцмана для энергии молекул равновесного идеального газа.

Лекция 5. Степени свободы молекул идеального газа. Теорема Больцмана о равномерном распределении кинетической энергии теплового движения молекул идеального газа по степеням свободы. Классическая теория теплоёмкости идеальных газов и её недостатки. Закон Дюлонга-Пти.

Лекция 6. Распределение Больцмана для идеального газа в однородном гравитационном поле. Барометрическая формула. Распределение Больцмана для идеального газа в поле центробежных сил. Опыты Перрена по исследованию барометрического распределения. Применение центрифуг в науке и технике.

Лекция 7. Поступательное и вращательное броуновское движение. Опыты Перрена по исследованию поступательного броуновского движения. Формулы Эйнштейна для броуновского движения и диффузии.

Лекция 8. Особенности молекулярного строения газов, жидкостей и твердых тел. Упрощенная модель теплового движения молекул газа. Длина и время свободного пробега молекул газа. Понятие «вакуум». Частота соударений молекул газа. Газокинетический диаметр молекул. Экспериментальное измерение длины свободного пробега (опыт Борна с молекулярным пучком). Характерные численные значения молекулярно-кинетических параметров различных агрегатных состояний вещества при нормальных условиях.

Лекция 9. Процессы переноса. Молекулярная диффузия. Закон Фика. Внутреннее трение (вязкость). Закон Ньютона для вязкого трения. Неньютоновские жидкости. Процессы теплопередачи. Теплопроводность. Закон Фурье. Характерные численные значения коэффициентов переноса для различных агрегатных состояний вещества при нормальных условиях.

Лекция 10. Элементарная молекулярно-кинетическая теория явлений переноса в газах. Универсальное уравнение молекулярного переноса. Связь коэффициентов переноса в газах с молекулярно-кинетическими характеристиками. Число Шмидта и число Прандтля.

Лекция 11. Стационарные и нестационарные явления переноса. Уравнения теплопроводности и диффузии, зависящие от времени. Время релаксации.

Лекция 12. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Отличие понятий «макросистема» и «термодинамическая система». Внешние и внутренние термодинамические параметры. Равновесное состояние термодинамической системы. Основное и нулевое начала термодинамики. Свойства температуры как термодинамического параметра. Термическое уравнение равновесного состояния. Термостат. Эмпирические температурные шкалы.

Лекция 13. Квазистатические (равновесные) процессы. Уравнение и график квазистатического процесса. Изопроцессы. Термодинамические коэффициенты и их свойства. Законы идеального газа как следствие термического уравнения состояния (уравнения Менделеева-Клапейрона).

Лекция 14. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия макросистемы в МКТ и в термодинамике. Понятие «функция состояния» равновесной термодинамической системы. Количество теплоты. Калорическое уравнение равновесного состояния. Теплоёмкость термодинамической системы в квазистатическом процессе. Невозможность «вечного двигателя» первого рода.

Лекция 15. Применение первого начала термодинамики к квазистатическим процессам в идеальном газе. Политропические процессы. Уравнение политропы. Связь показателя политропы с теплоёмкостью. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты для идеального газа. Изохорная и изобарная теплоёмкость идеального газа. Уравнение Майера.

Лекция 16. Взаимные преобразования теплоты и механической работы. Тепловая и холодильная машина. Принцип динамического отопления. Циклические процессы. Коэффициент полезного действия. Идеальный цикл Карно и его КПД. Примеры реальных тепловых машин.

Лекция 17. Качественная неэквивалентность теплоты и работы. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Две теоремы Карно. Формулировки Клаузиуса и Томсона (лорда Кельвина). Эквивалентность различных формулировок второго начала термодинамики.

Лекция 18. Равенство Клаузиуса. Абсолютная температура. Термодинамическая шкала температур. Связь абсолютной и эмпирических температурных шкал. Энтропия как функция равновесного состояния термодинамической системы. Изменение энтропии в обратимых процессах. Энтропия идеального газа. Закон неубывания энтропии в изолированной термодинамической системе. Неравенство Клаузиуса. Статистическая трактовка энтропии. Формула Больцмана для энтропии.

Лекция 19. Третье начало термодинамики (теорема Нернста) и его следствия. Недостижимость нуля абсолютной температуры.

Зависимость от температуры энтропии, теплоёмкости и термодинамических коэффициентов вблизи абсолютного нуля.

Тепловые колебания кристаллической решетки. Представление о фононах. Понятие о моделях Эйнштейна и Дебая для теплоёмкости твердых тел.

Лекция 20. Термодинамические тождества. Первое начало термодинамики в форме термодинамического тождества и его следствия. Термодинамические потенциалы. Термодинамические соотношения Максвелла. Свойства экстремальности термодинамических потенциалов в состоянии равновесия. Условия устойчивости равновесной термодинамической системы.

Лекция 21. Агрегатное состояние вещества. Конденсированное состояние. Понятие фазы и фазовая диаграмма. Критическая и тройная точки на фазовой диаграмме. Виды сил межмолекулярного взаимодействия. Понятие о химической связи. Модельные потенциалы. Потенциал Леннарда-Джонса. Реальные газы. Изотермы реальных газов. Опыты Эндрюса по сжижению углекислого газа.

Лекция 22. Модель Ван-дер-Ваальса для реального газа. Уравнение и изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Критическое состояние и критические параметры газа Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведённой форме. Закон соответственных состояний.

Лекция 23. Методы получения низких температур. Интегральный и дифференциальный эффект Джоуля - Томсона. Температура инверсии эффекта Джоуля - Томсона.

Лекция 24. Фазовые переходы и их классификация по Эренфесту. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Скрытая теплота перехода первого рода. Фазовые переходы второго рода по Эренфесту и непрерывные фазовые переходы.

Лекция 25. Особенности жидкого агрегатного состояния. Поверхностные явления. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание. Формула Лапласа. Капиллярные явления.

Лекция 26. Кристаллические и аморфные твёрдые тела. Симметрия кристаллов. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Ячейки и решетки Браве. Сингонии, пространственные группы и кристаллические классы. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Дефекты в кристаллах.

Лекция 27. Элементы термодинамики необратимых процессов. Потоки и термодинамические силы. Принцип симметрии кинетических коэффициентов Онсагера. Термодиффузия. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека, Пельтье, Томсона.

Лекция 28. Растворы. Теплота растворения. Взаимная растворимость жидкостей. Диаграммы состояния. Равновесие жидкость – пар для бинарных смесей. Законы Генри и Рауля. Изменение температуры кипения и замерзания по сравнению с чистым растворителем. Осмотическое давление. Закон Вант-Гоффа.

Лекция 29. Химические реакции. Теплота реакции. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Сильные и слабые электролиты. Энергия активации химической реакции. Цепные реакции.

Лекция 30. Резервная (дополнительный материал по выбору лектора).

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 равнораспределении 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 поле внешних сил (гравитационном поле и потенциальном 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. Теплємкость. 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 24-25. Реальные газы и жидкости. Уравнение и изотермы Ван-дер-Ваальса. Критические параметры.

Семинар 26. Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла.

Семинар 27. Методы получения низких температур. Дифференциальный и интегральный эффект Джоуля – Томсона.
Семинар 28. Поверхностные явления. Уравнение Лапласа.
Семинар 29. Фазовые переходы. Изменение термодинамических потенциалов при фазовых переходах. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Изменение энтропии и теплоемкости при фазовых переходах I рода.
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, 2018.
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.