

Программа курса лекций по молекулярной физике, 2024 год

Введение, краткие сведения о молекулах. Историческая справка. Атомы. Молекулы. Агрегатные состояния вещества.

Часть I. Максвелл-Больцмановский газ

- 1. Идеальный газ, функции распределения, температура.** Молекулярно-кинетическая теория, понятие идеального газа. Пространство скоростей. Случайные величины, вероятности, средние значения. Функции распределения. Распределение по направлениям движения.
- 2. Температура, распределение Максвелла.** Кинетическая энергия и температура. Распределение Максвелла. Средняя, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул.
- 3. Молекулярные потоки и пучки, давление и уравнение состояния.** Молекулярные потоки. Молекулярные пучки. Давление идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.
- 4. Распределение Больцмана.** Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Центрифугирование, разделение изотопов. Диэлектрическая поляризация. Опыты Перрена. Поляризуемость жидких кристаллов. Диэлектрический нагрев.
- 5. Распределение Максвелла-Больцмана.** Распределение Больцмана как следствие распределения Максвелла. Распределение Максвелла как следствие распределения Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана. Нахождение средней энергии с помощью статсуммы.
- 6. Многоатомные молекулы: закон равнораспределения энергии.** Движение центра масс молекулы. Степени свободы молекулы. Двухатомные молекулы в газе: равнораспределение энергии по степеням свободы. Равнораспределение из метода статсумм. Теплоемкость, вымораживание степеней свободы.
- 7. Столкновения молекул.** Относительное движение. Частота столкновений, длина свободного пробега, эффективное сечение. Распределение по длинам и временам пробега.
- 8. Химические реакции в газе.** Столкновения и химические реакции. Столкновительная модель, энергия активации. Закон действующих масс, стерический фактор, константа скорости. Переходное состояние. Кинетика реакции.

Часть II. Диффузия, теплопроводность, вязкость

- 9. Перенос вещества, тепла, макроскопической скорости.** Принцип локального равновесия. Диффузия, закон Фика. Теплопроводность, закон Фурье. Вязкость, закон вязкости Ньютона. Уточнение расчетов для диффузии в идеальном газе.
- 10. Разреженный газ.** Теплопроводность разреженного газа. Переход от обычного газа к разреженному. Эффузия, разделение изотопов. Эффект Кнудсена.
- 11. Вязкая жидкость: механика движения.** Ньютоновские жидкости. Движение пластины. Течение по трубе, формула Пуазейля. Движение шара, формула Стокса. Турбулентное течение.

12. Броуновское движение, связь с диффузией, подвижность. Броуновское движение. Модель одинаковых шагов, связь случайных блужданий и диффузии. Подвижность частиц. Соотношение Эйнштейна. Формула Стокса-Эйнштейна.

13. Временные зависимости для броуновского движения. Средний квадрат перемещения. Уравнение Ланжевена. Соотношение Эйнштейна-Смолуховского. Распределение перемещений в модели одинаковых шагов. Непрерывные блуждания. Центральная предельная теорема теории вероятностей.

14. Некоторые дополнительные вопросы. Уравнения диффузии и теплопроводности. Диффузия в кристаллах.

Часть III. Теплота, работа, законы термодинамики

15. Термодинамический подход, первое начало термодинамики. Термодинамические системы и параметры. Процессы: равновесные, неравновесные, обратимые и необратимые. Уравнение состояния, термодинамические коэффициенты. Внутренняя энергия и работа. Теплота, первое начало термодинамики. Теплоёмкость процесса. Адиабатический и политропический процессы в идеальном газе. Скорость звука в идеальном газе.

16. Преобразование теплоты в работу. Тепловая машина, циклы, КПД. Цикл Карно. Цикл Отто для двигателя внутреннего сгорания. Обратный цикл: холодильная машина, тепловой насос.

17. Второе начало термодинамики. Формулировки второго начала. Теорема Карно. Термодинамическая температура.

18. Энтропия. Теорема о приведённых теплотах, неравенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Энтропия и передача тепла. Энтропия идеального газа. Процесс Гей-Люссака, смешение газов.

19. Статистический смысл энтропии. Изменение энтропии при отклонении от равновесия в термодинамике. Статистический подход: принцип Больцмана. Флуктуации. Распределение Максвелла-Больцмана как наиболее вероятное распределение. Термодинамические величины из статистических принципов.

20. Термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия как потенциал. Энтальпия, свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса. Условия термодинамической устойчивости. Химический потенциал. Условие фазового и химического равновесия.

21. Некоторые методы и следствия термодинамики. Соотношения Максвелла. Зависимость внутренней энергии от объема. Метод циклов. Термодинамическая температура из теплового расширения.

22. Законы и термодинамика излучения. Газ фотонов, черное излучение. Плотность и поток энергии излучения, излучательная способность поверхности. Закон Кирхгофа. Давление газа фотонов. Закон Стефана-Больцмана. Спектральный состав черного излучения, формула Планка. Постоянная Стефана-Больцмана.

Часть IV. Фазовые и химические превращения

23. Реальные газы. Межмолекулярные взаимодействия, зависимость притяжения от расстояния. Газ Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критическая точка. Приведенное уравнение состояния. Сжижение газов. Процесс Джоуля–Томсона.

24. Фазовые переходы. Фазовые переходы первого и второго рода. Равновесие между паром и конденсированной фазой. Испарение и кипение. Возгонка (сублимация) и осаждение (десублимация). Метастабильные состояния. Камера Вильсона и пузырьковая камера.

25. Термодинамика фазовых переходов. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса (вывод методом химического потенциала). Вывод методом циклов. Термодинамика равновесия между паром и конденсированной фазой. Равновесие трех фаз, тройная точка.

26. Термодинамика химических реакций. Химический потенциал идеального газа. Химический потенциал и барометрическая формула. Химическое равновесие в идеальном газе. Закон действующих масс, принцип Ле Шателье. Химические реакции и первое начало термодинамики: закон Гесса.

Часть V. Поверхности, растворы, сложные системы.

27. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение. Краевой угол. Поверхностное давление. Формула Лапласа. Капиллярные силы. Давление пара над искривленной поверхностью. Капиллярная конденсация.

28. Растворы. Идеальные растворы. Давление паров над раствором, закон Рауля. Растворы газов в жидкостях, закон Генри. Осмос и осмотическое давление, формула Вант-Гоффа. Значение осмоса для живых организмов. Кипение растворов. Замерзание растворов. Коллигативность свойств растворов.

29. Термодинамика растворов. Химический потенциал идеального раствора. Термодинамика осмоса. Термодинамика кипения растворов. Термодинамика замерзания растворов.

30. Гетерогенные системы. Коллоидные растворы. Взвеси. Амфифильные молекулы, адсорбция на поверхности жидкостей.

31. Межмолекулярные взаимодействия в конденсированной фазе. Взаимодействие полярных и неполярных молекул. Водородные связи. π -Столкновения. Коллективный гидрофобный эффект, самоорганизация амфифильных молекул. Гидрофобный эффект и самоорганизация в биологических системах.

Составил

Доктор физико-математических наук, профессор

Дзюба Сергей Андреевич