

Программа курса Молекулярной физики для ФКИ 2021

В скобках указаны демонстрации. Компьютерные демонстрации (подчеркнутые) можно скачать на сайте smcstatphys.ilc.edu.ru, некоторые из реальных демонстраций (указан номер в списке) можно посмотреть на сайте <http://genphys.phys.msu.ru/rus/lecdemo/MolPhys/index.html>

1. Основные понятия Молекулярно-Кинетической Теории и дискретные случайные величины

Масштабы молекул, газовые постоянные, взаимодействие молекул, хаотическое движение, дискретные случайные величины, вероятность, условная вероятность, гистограмма. (Биномиальное распределение. $N=3$. в доске Гальтона 1.1.1)

Число частиц в выделенном объеме, Биномиальное распределение, равномерное распределение, распределение детерминированной величины, распределение Бернулли, распределение Пуассона. (Флуктуации числа частиц, Соотношение статистических свойств длины траектории и числа столкновений молекул)

2. Статистические характеристики и непрерывные случайные величины

Математическое ожидание, дисперсия, относительная флуктуация. Плотность распределения вероятности. Экспоненциальное распределение, длина свободного пробега (Длина свободного пробега)

Распределение Гаусса (нормальное), центральная предельная теорема, распределение проекций вектора скорости на ось (Доска Гальтона, Нормальное распределение. Доска Гальтона 1.2).

3. Распределения Максвелла и Больцмана

Распределение для модуля вектора скорости (Максвелла). Относительная скорость. Распределение Максвелла в двухмерном пространстве (Относительная скорость двух частиц).

Распределение координат в потенциальном поле (Больцмана), распределение в поле силы тяжести и в поле центробежной силы. (Распределение Больцмана, Распределение молекул в поле силы тяжести.1.4).

4. Основы термодинамики

Равновесное состояние, Микроскопические и макроскопические состояния, температура, объем, давление, концентрация, количество вещества, внутренняя энергия, работа газа, количество теплоты (Измерение температуры. Модель газового термометра 1.6, Измерение давления. U-образный манометр 1.8.1).

Первый закон термодинамики, давление идеального газа (Превращение работы в теплоту. Опыт Тиндаля 4.1.1, Превращение теплоты в работу 4.2).

5. Равновесные процессы

Нулевое начало термодинамики, равновесные процессы, распределение энергии по степеням свободы, теплоемкость (Опыт Эйхенвальда 1.3)

Изохорный, изобарный, изотермический, адиабатический, политропический процессы в идеальном газе (Воздушное огниво 4.1.3, Флуктуации высоты положения поршня).

6. Энтропия и второе начало термодинамики

Термодинамическое определение энтропии, энтропия идеального газа, изменение энтропии при смешивании и теплообмене.

Информационный смысл энтропии, формула Шеннона, статистическое определение энтропии, энтропия координаты, энтропия скорости, второе начало термодинамики, формулировки Кельвина, Клаузиуса, энтропийная.

7. Реальные газы

Взаимодействие молекул, учет отталкивания, учет притяжения, потенциал Леннарда-Джонса, уравнение Ван-дер-Ваальса.

Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса, расширение газа в пустоту (Расширение газа в пустоту, Флуктуации плотности в одномерном газе).

8. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Испарение и конденсация.

Изотермы газа Ван-дер-Ваальса реальных процессов, правило Максвелла, охлаждение при испарении, кипение, конденсация, (Кипение воды под колоколом насоса 6.2, Кипение при охлаждении 6.4, Замерзание кипящей воды 6.3).

Критическая точка (Критическое состояние эфира 3.4.), переохлажденный пар, перегретая жидкость (Кипение перегретой жидкости 6.6, Образование тумана под куполом насоса 3.3).

9. Фазовые переходы и свободная энергия

Парадокс Гиббса. Возрастание энтропии, энтропия газа Ван-дер-Ваальса, энтропия жидкости, оценка энтропии твердого тела. Обобщенная формулировка Второго закона термодинамики.

Фазовые переходы, плавление, кристаллизация, свободная энергия, условие устойчивого состояния, химический потенциал (Сжижение метана 3.2, Ртутный молоток 6.9).

10. Случайное блуждание и диффузия

Дискретное одномерное блуждание, броуновское движение (Броуновское движение и эргодичность), диффузия, распределение вероятностей координаты броуновской частицы, возрастание энтропии.

Соотношение длины траектории и смещения, распределения для времени и длины свободного пробега (Длина свободного пробега, Длина свободного пробега в смеси газов), коэффициент диффузии, средняя длины свободного пробега, фрактальность траектории, аномальная диффузия.

11. Явления переноса

Градиент концентрации, уравнение для потока частиц, закон Фика (Диффузия паров брома 2.7, Энтропия), общее уравнение явлений переноса.

Градиент температуры, уравнение теплопроводности, теплопроводность (Сравнение теплопроводности воздуха и метана 2.4, Независимость теплопроводности от давления 2.5), уравнение вязкости, вязкость (Зависимость вязкости газа от температуры 2.2.), уравнение нестационарной диффузии и его решение.

12. Поверхностное натяжение

Поверхностная плотность свободной энергии, коэффициент поверхностного натяжения, (Работа мыльной пленки 5.3.3, Опыт Плато 5.1), Мыльные пузыри и пленки (Пленки на каркасах 5.3.2), условия равновесия на границе двух жидкостей, на границе жидкости и твердого тела, смачивание и несмачивание (Смачивание и несмачивание 5.5.2 Капли керосина и ртути на стекле).

Избыточное давление, связь давления и радиуса кривизны (Мыльные пузыри и пленки. Зависимость давления в мыльном пузыре от его радиуса 5.3.1.), капиллярные явления, высота столба жидкости (Подъем жидкости в капиллярных трубках. 5.4.1, Подъем жидкости в клине 5.4.2.).

13. Механизмы возникновения необратимости

Возникновение необратимости. Динамическая неустойчивость. Математические бильярды. Показатель Ляпунова. Бифуркация. Отображение пекаря. Задача Улама. Сечение Пуанкаре. Эксперимент: время хаотизации частиц в математическом бильярде в зависимости от кривизны стенки.)

Традиционные генераторы случайных чисел. Современные аппаратные генераторы случайных чисел. Лавовая лампа (Статистика соударений с фрагментом стенки в математическом бильярде, Газ Лоренца)

Основная литература:

1. Алешкевич В.А., Деденко Л.Г., Караваев В.А. Молекулярная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ, серия «Университетский курс общей физики», 2016. – 310 с.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Оникс, Мир и Образование, серия «Классический университетский учебник», 2006. – 360 с.