

## Список вопросов и задач минимального уровня по курсу "Общая физика: термодинамика и молекулярная физика"

### Уравнение состояния. Идеальный газ

- Записать внутреннюю энергию идеального газа с постоянной теплоёмкостью  $C_V$ , имеющего давление  $P$  и объём  $V$ .
- Выразить давление идеального газа через концентрацию и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул.
- Дать определение коэффициентов теплового расширения, изотермической сжимаемости, температурного коэффициента давления..

### Первое начало термодинамики

- Рассчитать работу идеального газа в изотермическом/адиабатическом процессе.
- Вывести уравнение адиабаты идеального газа.
- Получить разность  $C_P - C_V$  для идеального газа.

### Адиабатическое истечение газов. Скорость звука

- Найти скорость истечения идеального одноатомного газа при температуре  $T$  в пустоту через отверстие.
- Рассчитать скорость звука в идеальном газе с известными параметрами.

### Второе начало термодинамики. Тепловые машины. Энтропия

- Изобразить цикл Карно в координатах  $TS$ . Указать на графике теплоты нагревателя и холодильника, а также работу в цикле.
- Получить выражение для КПД идеальной тепловой машины Карно.
- Сформулировать теоремы Карно.
- Системе сообщили тепло  $dQ$ . Каким при этом может быть изменение энтропии  $dS$ ? При каких условиях в этом выражении неравенство переходит в равенство?
- Написать объединённую запись первого и второго начала термодинамики (в дифференциальном виде). При каких условиях в этом выражении неравенство переходит в равенство?
- Дать статистическое определение энтропии. Чем определяется равновесное состояние?
- Написать выражение для энтропии идеального газа.
- Изобразить в координатах  $TS$  график политропического процесса.
- Два твёрдых тела с теплоёмкостями  $C$  каждое, имеющих температуры  $T_1$  и  $T_2$ , привели в тепловой контакт. Найти изменение энтропии системы к моменту установления равновесия.
- Найти изменение энтропии идеального газа при неравновесном расширении в пустоту в теплоизолированной оболочке.

### Термодинамические функции

- Написать дифференциал внутренней энергии/энтальпии/свободной энергии/энергии Гиббса.
- Написать энтальпию идеального газа с постоянной теплоёмкостью.
- В процессе при постоянном давлении к системе подвели теплоту  $Q$ . Найти изменение энтальпии системы.
- В изотермическом процессе над системой совершена работа  $A$ . Найти изменение свободной энергии системы.

### Фазовые превращения

- Чему равно давление насыщенных паров воды при температуре  $100^\circ\text{C}$ ?
- Написать уравнение Клапейрона—Клаузиуса для системы пар—вода.
- Изобразить фазовую диаграмму воды. Указать положение критической и тройной точки.
- Зная молярную теплоту парообразования при данной температуре, найти разность молярных внутренних энергий жидкости и пара.

### Реальные газы

- Написать уравнение Ван-дер-Ваальса и указать физический смысл входящих в него констант.
- В координатах  $PV$  изобразить семейство изотерм газа Ван-дер-Ваальса и изотерм реального газа.

- Найти изменение температуры газа Ван-дер-Ваальса при неравновесном расширении в пустоту в теплоизолированной оболочке.
- В чем заключается эффект Джоуля-Томсона? Какая физическая величина сохраняется в этом эффекте?
- Найти изменение температуры идеального газа в эффекте Джоуля-Томсона.

#### **Поверхностные явления**

- Найти давление внутри мыльного пузыря.
- Найти высоту подъёма воды в капилляре с известным углом смачивания.
- Выразить свободную энергию поверхности жидкости через коэффициент поверхностного натяжения.

#### **Распределение Максвелла**

- Написать (с точностью до нормировочной константы) и изобразить на графике распределение Максвелла по проекциям скорости на ось  $x$ .
- Написать (с точностью до нормировочной константы) и изобразить на графике распределение Максвелла по модулям скоростей.
- Написать выражения для среднеквадратичной и наиболее вероятной скоростей молекул.
- Определить количество частиц, ударяющихся в секунду о площадку площади  $S$  в газе с температурой  $T$  и давлением  $P$ .

#### **Распределение Больцмана**

- Вывести барометрическую формулу для изотермической атмосферы.
- Энергия атома в возбуждённом состоянии на  $E$  больше, чем в основном. Найти долю возбуждённых атомов в системе при температуре  $T$ . Другие уровни энергии не учитывать.

#### **Теория теплоёмкостей**

- Сформулировать теорему о равнораспределении энергии по степеням свободы. Какая энергия приходится на одну полностью возбужденную колебательную степень свободы молекулы?
- Построить схематично график зависимости молярной теплоёмкости  $C_V$  двухатомного газа (азота) от температуры.

#### **Флуктуации**

- Средне число частиц идеального газа в некотором мысленно выделенном объёме равно  $N \gg 1$ . Оценить среднеквадратичную флуктуацию числа частиц в нём.
- Найти среднеквадратичное отклонение груза на пружине жёсткостью  $\beta$  от положения равновесия при температуре  $T$ .

#### **Явления переноса. Коэффициенты переноса**

- Получить оценочную формулу для длины свободного пробега молекул в газе твердых шариков.
- Дать определение плотности потока частиц/тепла/импульса и коэффициентов диффузии/теплопроводности/вязкости.
- Написать оценку коэффициента диффузии/теплопроводности/вязкости в идеальном газе с известными параметрами.
- Как коэффициент теплопроводности газа в некотором сосуде зависит от давления (в том числе при высоком вакууме)?
- Написать условие равновесия между двумя сосудами с идеальными газами, соединенными тонкой трубкой, если радиус трубки много меньше длины свободного пробега (эффект Кнудсена).

#### **Броуновское движение**

- Коэффициент диффузии частиц равен  $D$ . Оценить среднеквадратичное смещение частицы в пространстве от исходного положения за время  $t$ .
- Дать определение подвижности частицы и написать связь подвижности броуновской частицы с коэффициентом диффузии.