
Термодинамика

2.1 Внутренняя энергия

Определение:

Внутренняя энергия (U) системы — это полная энергия всех микрочастиц (молекул, атомов, ионов), составляющих систему. Она включает в себя:

1. **Кинетическую энергию** хаотического теплового движения этих частиц (поступательного, вращательного и колебательного).
2. **Потенциальную энергию** взаимодействия между этими частицами (межмолекулярные силы, внутриатомные силы).

Свойства:

Внутренняя энергия U является одной из ключевых термодинамических величин и обладает следующими свойствами:

1. **Аддитивность:**

$$U_{\text{системы}} = \sum_i U_i,$$

где U_i — внутренняя энергия i -й подсистемы.

2. **Функция состояния:**

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

где ΔU зависит только от начального и конечного состояний системы, а не от пути перехода.

3. **Зависимость от температуры и объёма:**

$$U = U(T, V),$$

где T — температура, V — объём системы.

4. **Связь с первым началом термодинамики:**

$$\Delta U = Q - W,$$

где Q — количество теплоты, подведённое к системе, W — работа, совершённая системой.

5. **Для идеального газа:**

$$U = \frac{3}{2}nRT \quad (\text{для одноатомного газа}),$$

где n — количество вещества, R — универсальная газовая постоянная, T — температура.

6. **Для реальных систем:** Внутренняя энергия зависит от межмолекулярных взаимодействий и может быть выражена через уравнение состояния.

Эти свойства позволяют описывать и анализировать термодинамические процессы в различных системах.

Для многоатомного идеального газа формула несколько усложняется, но всё также внутренняя энергия пропорциональна температуре:

$$U = \frac{i}{2}\nu RT,$$

где i — число степеней свободы.

Изменение внутренней энергии (ΔU): $\Delta U = U_2 - U_1$.

При нагревании газа внутренняя энергия увеличивается, при охлаждении — уменьшается.

2.2 Тепловое равновесие

Определение:

Тепловое равновесие — это состояние системы, при котором все ее части имеют одинаковую температуру, и не происходит теплообмена между ними.

Условие:

Система изолирована от внешней среды или находится с ней в равновесии.

Процесс:

1. Если тела с разными температурами приводят в контакт, то тепловая энергия передается от более нагретого к менее нагретому.
2. Этот процесс продолжается до тех пор, пока температуры всех тел не сравняются.

Макроскопическое описание:

Система в тепловом равновесии характеризуется постоянными макроскопическими параметрами (давление, температура, объем), при этом на микроскопическом уровне частицы продолжают хаотическое тепловое движение.

2.2.3 Теплопередача

Определение:

Теплопередача — это процесс переноса тепловой энергии от более нагретых тел (или областей тела) к менее нагретым.

Виды теплопередачи:

1. **Теплопроводность** — Передача энергии путем прямого взаимодействия (столкновения) между частицами, имеющими разную кинетическую энергию. Преобладает в твердых телах (особенно в металлах).

Закон Фурье: описывает теплопроводность:

$$\frac{Q}{t} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

где:

- $\frac{Q}{t}$ — поток тепла (количество теплоты, проходящее через сечение в единицу времени).
- k — коэффициент теплопроводности (характеристика материала).
- A — площадь поперечного сечения, через которое проходит теплота.
- $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ — температурный градиент (изменение температуры на единицу длины).

Примечание: Теплопроводность происходит от более нагретой области к менее нагретой.

2. **Конвекция** — Передача энергии за счет перемещения потоков жидкости или газа, содержащих нагретые частицы. Характерно только для жидкостей и газов.

Бывает:

- Естественной (за счет разности плотностей)
- вынужденной (с помощью насосов, вентиляторов).

3. **Излучение** — передача энергии в виде электромагнитных волн (инфракрасное излучение, видимый свет и др.). Может происходить в вакууме.

Закон Стефана-Больцмана: описывает мощность излучения абсолютно черного тела:

$$P = \sigma AT^4$$

где:

- P — мощность излучения.
- σ — постоянная Стефана-Больцмана.
- A — площадь поверхности тела.
- T — температура тела (в Кельвинах).

Примечание: Все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, излучают электромагнитную энергию.

2.2.4 Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества

Количество теплоты (Q):

Количество теплоты (Q) — мера энергии, переданной или полученной системой в результате теплообмена (телопередачи).

Формулы:

1. Нагревание/охлаждение:

$$Q = cm\Delta T$$

где:

- c — удельная теплоемкость вещества (количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 кг вещества на 1 градус Цельсия (или Кельвин)).
- m — масса тела.
- ΔT — изменение температуры ($T_2 - T_1$).

Примечание: Эта формула справедлива, если нет фазовых переходов.

2. Плавление/кристаллизация:

$$Q = \pm \lambda m$$

где:

- λ — удельная теплота плавления (количество теплоты, необходимое для плавления 1 кг вещества при температуре плавления).
- m — масса вещества.
- Знак "+" — при плавлении (теплота поглощается), знак "-" — при кристаллизации (теплота выделяется).

3. Испарение/конденсация:

$$Q = \pm Lm$$

где:

- L — удельная теплота парообразования (количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в пар при температуре кипения).
- m — масса вещества.
- Знак "+" — при парообразовании (теплота поглощается), знак "-" — при конденсации (теплота выделяется).

Удельная теплоемкость (c):

Удельная теплоемкость — Характеристика вещества, показывающая, насколько сильно изменяется его температура при передаче ему определенного количества теплоты.

- Зависит от агрегатного состояния вещества и его температуры.

2.2.5 Работа в термодинамике

Определение:

Работа (A) в термодинамике — это мера энергии, переданной системе (или полученной от нее) в результате изменения объема системы под действием внешнего давления.

Формула (для квазистатического процесса):

1. Работа:

$$A = \int p dV$$

где:

- p — давление газа, которое может меняться в процессе.
- dV — бесконечно малое изменение объема.
- Интеграл берется по пути изменения объема.

Формула для изобарного процесса:

$$A = p\Delta V = p(V_2 - V_1) \quad (\text{давление постоянно}).$$

Геометрический смысл:

Работа равна площади под кривой на PV -диаграмме.

Знаки работы:

- $A > 0$: Если система совершает работу (например, газ расширяется, выталкивая поршень).
- $A < 0$: Если над системой совершается работа (например, газ сжимается внешними силами).

2.2.6 Уравнение теплового баланса

Формулировка:

В изолированной системе (системе, не обменивающейся энергией с окружающей средой) суммарное количество теплоты, отданное одними телами, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами:

$$\sum Q_{\text{отданное}} = \sum Q_{\text{полученное}}$$

Применение:

Используется для расчета температур при теплообмене в изолированных системах (например, в калориметре).

Условие справедливости:

Система должна быть *замкнутой* и *изолированной*, т.е. не должна обмениваться теплом и веществом с окружающей средой.

Пример:

Смешивание воды разной температуры в калориметре.

2.2.7 Первый закон термодинамики

Формулировка:

Изменение внутренней энергии системы (ΔU) равно сумме количества теплоты (Q), переданного системе, и работы (A), совершенной над системой внешними силами:

1. $\Delta U = Q + A$ (работа над системой, от внешних сил).
2. $Q = \Delta U + A$ (работа, совершенная системой против внешних сил).

Связь с законом сохранения энергии:

Первый закон термодинамики является математической формулировкой закона сохранения энергии для термодинамических процессов.

Знаки величин:

- $Q > 0$: Теплота подводится к системе.
- $Q < 0$: Теплота отводится от системы.
- $A > 0$: Работа совершается системой над внешними телами.
- $A < 0$: Работа совершается над системой внешними силами.

Применение:

Позволяет анализировать энергетические балансы при различных процессах: изотермическом, адиабатном, изобарном, изохорном.

2.2.8 Второй закон термодинамики

Формулировки:

1. **Формулировка Клаузиуса:** Невозможен процесс, при котором теплота самопроизвольно переходит бы от холодного тела к более нагретому.
2. **Формулировка Томсона (Кельвина):** Невозможен периодический процесс, единственным результатом которого было бы превращение теплоты, полученной от теплового резервуара, полностью в работу (не существует "вечного двигателя второго рода").
3. **Формулировка с помощью энтропии:** В изолированной системе энтропия не уменьшается, а в идеале растет (при необратимых процессах).

Суть:

Второй закон указывает на то, что все реальные процессы в природе необратимы и сопровождаются увеличением энтропии (меры беспорядка).

Следствия:

- Существует направление развития процессов (теплота сама не переходит от холодного к горячему).
- КПД тепловых двигателей не может быть 100%.
- Природа стремится к беспорядку.

2.2.9 КПД тепловой машины

Определение:

КПД (коэффициент полезного действия) тепловой машины — это отношение полезной работы (A), совершенной машиной, к количеству теплоты ($Q_{\text{нагр}}$), полученному от нагревателя.

Формула:

КПД:

$$\eta = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{холод}}}{Q_{\text{нагр}}} \quad \text{или} \quad \eta = 1 - \frac{Q_{\text{холод}}}{Q_{\text{нагр}}}$$

где:

- $Q_{\text{нагр}}$ — количество теплоты, полученное от нагревателя.
- $Q_{\text{холод}}$ — количество теплоты, отданное холодильнику.

Примечание: КПД выражается либо в долях единицы, либо в процентах.

Ограничения:

КПД не может быть 100% (второй закон термодинамики).

Идеальная тепловая машина (Цикл Карно):

Наибольший КПД, теоретически возможный для тепловой машины, работающей при заданных температурах нагревателя ($T_{\text{нагр}}$) и холодильника ($T_{\text{холод}}$):

$$\eta_{\text{Карно}} = 1 - \frac{T_{\text{холод}}}{T_{\text{нагр}}}$$

2.2.10 Принципы действия тепловых машин

Принцип:

Тепловые машины преобразуют тепловую энергию в механическую работу за счет циклического изменения состояния рабочего тела (газа или пара).

Основные элементы:

- **Нагреватель:** Источник теплоты с высокой температурой (например, сгорание топлива).
- **Рабочее тело:** Вещество (обычно газ или пар), совершающее работу.
- **Холодильник:** Тело с более низкой температурой, которому рабочее тело отдает избыточную теплоту.

Цикл:

Тепловой двигатель работает по циклу, который состоит из нескольких термодинамических процессов:

1. Рабочее тело получает тепло от нагревателя.
2. Рабочее тело совершает работу, расширяясь.
3. Рабочее тело отдает избыточную теплоту холодильнику.
4. Рабочее тело возвращается в начальное состояние.

Примеры:

- Двигатель внутреннего сгорания (ДВС).
- Паровая турбина.
- Холодильная машина (работает в обратном цикле, т.е. совершает работу для переноса тепла от холодного тела к более нагретому).