

Основные положения термодинамики

(по учебнику А.В.Грачева и др. Физика: 10 класс)

Термодинамической системой называют совокупность очень большого числа частиц (сравнимого с числом Авогадро $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ (моль)⁻¹).

Внутренней энергией U термодинамической системы называют сумму кинетических энергий хаотического движения всех молекул системы и потенциальных энергий их взаимодействия друг с другом.

Теплообменом называют процесс, при котором одна термодинамическая система передаёт энергию другой без совершения работы.

Количеством теплоты Q называют количество энергии, переданное от одной термодинамической системы к другой в процессе теплообмена.

Теплопроводностью называют вид теплообмена, который осуществляется между частями термодинамической системы при их непосредственном контакте. При теплопроводности не происходит переноса вещества.

Конвекцией называют процесс, при котором теплообмен осуществляется за счет перемещения нагретых и холодных частей вещества. При конвекции происходит перенос вещества, в результате чего и осуществляется теплообмен.

Излучением называют процесс теплообмена, осуществляемый электромагнитными волнами. Для передачи энергии излучением от одного тела к другому наличие какого-либо вещества между ними не обязательно.

Первое начало (закон) термодинамики – изменение внутренней энергии термодинамической системы равно сумме количества теплоты, полученного системой, и работе, совершенной **над системой**:

$$\Delta U = Q + A_{\text{над}}$$

Иногда при формулировании первого начала говорят о работе A , совершаемой **самой системой**. В этом случае получаем:

$$Q = \Delta U + A,$$

т.е. количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение ею работы.

Температура – физическая величина, характеризующая степень нагретости тел, находящихся в состоянии теплового равновесия.

Нулевое начало (закон) термодинамики – полностью изолированная термодинамическая система с течением времени самопроизвольно переходит в состояние термодинамического равновесия.

Теплоемкость C термодинамической системы (тела) – это отношение бесконечно малого количества теплоты ΔQ , полученного системой, к соответствующему изменению ее температуры ΔT :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}.$$

Теплоемкость одного моля вещества называют **молярной теплоемкостью**.

Идеальный газ – это газ, молекулы которого

- 1) не взаимодействуют на расстоянии;
- 2) имеют достаточно малые размеры по сравнению со средним расстоянием между ними (суммарный объем всех молекул много меньше объема, занимаемого газом);
- 3) соударяются как абсолютно упругие шарики.

Уравнение состояния идеального газа (или уравнение Менделеева-Клапейрона):

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T,$$

где p , V , T – давление, объём и температура газа соответственно, ν - число молей газа, $R=8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная.

Процессом называют переход термодинамической системы из одного состояния в другое.

Внутренняя энергия одного моля идеального одноатомного газа зависит только от его температуры:

$$U_{\text{мол}} = \frac{3}{2} RT = \frac{3}{2} N_A kT,$$

где $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $N_A=6 \cdot 10^{23}$ (моль)⁻¹. - число Авогадро.

Множитель «3» обусловлен числом степеней свободы атома.

Для наиболее распространенных **двухатомных газов** (азот, кислород, водород и др.) к трем поступательным степеням свободы добавляются две вращательные: всего 5 (пять) степеней свободы. Для них

$$U_{\text{мол}} = \frac{5}{2} RT = \frac{5}{2} N_A kT$$

Элементарная (бесконечно малая) **работа** ΔA , совершаемая газом, пропорциональна изменению его объёма:

$$\Delta A = p \cdot \Delta V.$$

Если объем увеличивается $\Delta V > 0$, то работа, совершаемая газом, положительная, если объем уменьшается $\Delta V < 0$, то работа, совершаемая газом, отрицательная

Для газов **теплоёмкость** является функцией процесса:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U + \Delta A}{\Delta T}.$$

Для **изохорического процесса** ($V = \text{const}$) работа A равна нулю, молярная теплоемкость C_V такого процесса (для идеального **одноатомного** газа) равна

$$C_V = \frac{\Delta U_{\text{мол}}}{\Delta T} = \frac{3R}{2}.$$

Для **двухатомного** газа молярная теплоемкость равна

$$C_V = \frac{5R}{2}.$$

Для **изобарического процесса** ($p = \text{const}$) молярная теплоемкость C_p (для идеального **одноатомного** газа) равна

$$C_p = \frac{\Delta U + p\Delta V}{\Delta T} = \frac{\frac{3}{2}R\Delta T + R\Delta T}{\Delta T} = C_V + R = \frac{5}{2}R.$$

Формула $C_p = C_v + R$ справедлива и для **двухатомных** газов.

Для **изотермического процесса** ($T=const$) $\Delta T=0$, но $\Delta Q \neq 0$, следовательно, теплоемкость такого процесса стремится к $\pm\infty$.

Для **адиабатического процесса** ($\Delta Q = 0$) теплоемкость равно нулю.

При адиабатическом расширении температура газа уменьшается, и он совершает положительную работу за счет уменьшения своей внутренней энергии.

Тепловые двигатели используются для преобразования теплоты в механическую энергию (работу).

Для работы теплового двигателя необходимо:

- 1) наличие рабочего вещества;
- 2) наличие нагревателя, передающего рабочему веществу необходимое для совершения работы количество теплоты;
- 3) наличие холодильника, необходимого для циклической работы двигателя, т.е. для возвращения рабочего вещества в исходное состояние.

Коэффициентом полезного действия (КПД) двигателя называют отношение совершенной двигателем за цикл полезной работы A к полученному от нагревателя рабочим веществом за тот же цикл количеству теплоты $Q_{нагр}$

$$\eta = \frac{A}{Q_{нагр}} = \frac{Q_{нагр} - Q_{хол}}{Q_{нагр}},$$

где $Q_{хол}$ - количество теплоты, отданное холодильнику рабочим веществом за цикл (здесь $Q_{нагр} > Q_{хол} > 0$).

Цикл Карно – цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат.

КПД цикла Карно является максимально возможным при заданных температурах нагревателя $T_{нагр}$ и холодильника $T_{хол}$ и равен

$$\eta_{Карно} = \frac{T_{нагр} - T_{хол}}{T_{нагр}}.$$

Второе начало (закон) термодинамики – нельзя создать циклический тепловой двигатель, который превращает в работу всю полученную от нагревателя теплоту.

Другая (эквивалентная) формулировка **второго начала термодинамики** – нельзя передать теплоту от менее нагретого тела более нагретому без изменений в других телах.

Фазой называют равновесное состояние вещества, отличающееся по своим физическим свойствам от других состояний того же вещества.

Испарением называют переход вещества из жидкого или твердого состояния в газообразной с открытой поверхности жидкости или твердого тела.

Процесс испарения любой жидкости происходит постоянно при любой температуре.

При испарении жидкости температура всей термодинамической системы, состоящей из жидкости и образующегося над ней пара, уменьшается.

Конденсацией называют переход вещества из газообразного состояния в жидкое или твердое.

При конденсации температура всей термодинамической системы, состоящей из жидкости и пара, увеличивается.

Плавлением называют переход вещества из твердого состояния в жидкое.

Кристаллизацией называют переход вещества из жидкого состояния в твердое.

Внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии этого вещества при той же температуре в твердом состоянии.

В процессе плавления температура вещества остается неизменной, а его внутренняя энергия увеличивается.

Удельной теплотой плавления вещества называют количество теплоты, которое необходимо сообщить однородному кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние.

Плотность большинства тел при плавлении уменьшается (нормальные вещества). Но существуют и аномальные вещества (например, чугун и вода), плотность которых при плавлении увеличивается. Именно по этой причине лед плавает на поверхности воды.

Изменение внутренней энергии вещества при плавлении и конденсации равны по модулю, но противоположны по знаку.

Коэффициентом поверхностного натяжения σ жидкости называют отношение работы A внешних сил, которая необходима для изотермического увеличения площади свободной поверхности жидкости, к увеличению ΔS площади этой поверхности:

$$\sigma = \frac{A}{\Delta S}.$$

Силой поверхностного натяжения называют силу, действующую со стороны поверхности жидкости на граничащие с ней объекты. Эта сила направлена по касательной к поверхности жидкости, перпендикулярно участку контура, ограничивающему поверхность жидкости, в сторону сокращения площади этой поверхности.