

Термодинамика и молекулярная физика.

- **Молярная масса**

$$M = N_A m_{\text{мол.}}$$

здесь M – молярная масса ($[M] = \text{кг/моль}$) – масса N_A (постоянная Авогадро) молекул;
 $m_{\text{мол.}}$ – масса молекулы.

- **Количество вещества**

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},$$

здесь N – число структурных частиц вещества (молекул, атомов, ионов), N_A – постоянная Авогадро, m – масса вещества, M – молярная масса, $[\nu] = \text{моль}$.

- **Плотность вещества**

$$\rho = \frac{m}{V},$$

здесь m – масса газа, V – объем газа, $[\rho] = \text{кг/м}^3$.

- **Концентрация молекул**

$$n = \frac{N}{V}$$

здесь N – число молекул газа, V – объем газа, $[n] = 1/\text{м}^3$.

- **Идеальный газ**

Взаимодействие между молекулами газа настолько мало, что им можно пренебречь. Суммарная внутренняя энергия идеального газа равна сумме энергий отдельных молекул. Обмен энергией между молекулами идеального газа происходит только при их соударениях.

Реальный газ можно рассматривать как идеальный, если средняя потенциальная энергия взаимодействия молекул много меньше средней кинетической энергии

молекул. Это приближение допустимо, если газ настолько разрежен, что силы взаимодействия между молекулами пренебрежимо малы.

- **Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов**

$$p = \frac{1}{3}nm_0\langle V^2 \rangle = \frac{1}{3}nm_0V_{\text{кв.}}^2.$$

здесь p – давление газа; n – концентрация молекул газа; $\langle V^2 \rangle$ – среднее значение квадрата скорости молекулы, $V_{\text{кв.}} = \sqrt{\langle V^2 \rangle}$ – среднеквадратичная скорость; m_0 – масса одной молекулы.

- **Связь давления идеального газа и средней кинетической энергии поступательного движения молекул**

$$p = \frac{2}{3}n\langle E_{\text{кин}} \rangle$$

здесь $\langle E_{\text{кин}} \rangle = \frac{m\langle V^2 \rangle}{2} = \frac{mV_{\text{кв.}}^2}{2}$ – среднее значение кинетической энергии поступательного движения молекул.

- **Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы идеального газа**

$$\langle E_{\text{кин}} \rangle = \frac{3}{2}k_{\text{Б}}T.$$

Здесь T – термодинамическая температура $[T] = \text{К}$, $k_{\text{Б}}$ – постоянная Больцмана.

- **Термодинамическая шкала температур. Шкала Кельвина**

$$T = t + 273.$$

Здесь T – термодинамическая температура в кельвинах; t – температура в градусах Цельсия. Температура – физическая величина, характеризующая степень нагретости макроскопической системы в состоянии ее термодинамического равновесия и определяющая направление теплообмена между телами.

- **Среднеквадратичная скорость молекул газа**

$$V_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^2} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Здесь N – количество молекул газа; $R = N_A k_B$ – универсальная газовая постоянная; m_0 – масса одной молекулы; k_B – постоянная Больцмана; M – молярная масса газа.

- **Закон Дальтона**

Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений газов, входящих в ее состав.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_N.$$

Здесь N – количество газов в смеси; p_i – парциальное давление i -го газа в смеси (такое давление, которое создает газ при той же температуре в том же объеме).

- **Объединенный газовый закон для идеального газа**

$$\frac{pV}{T} = \text{const}, \text{ при } \nu = \text{const}$$

- **Уравнение Менделеева–Клапейрона для идеальных газов**

$$pV = \nu RT,$$

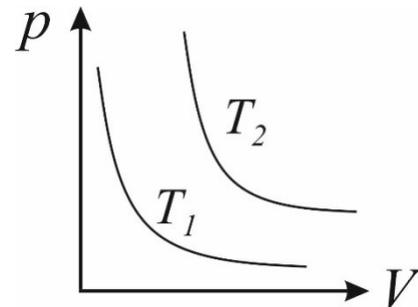
здесь p – давление газа, T – термодинамическая температура газа, V – объем газа, ν – количество вещества газа, R – универсальная газовая постоянная.

- **Изопроцессы**

Изотермический процесс $T = \text{const}$. Закон Бойля–Мариотта.

$$pV = \text{const},$$

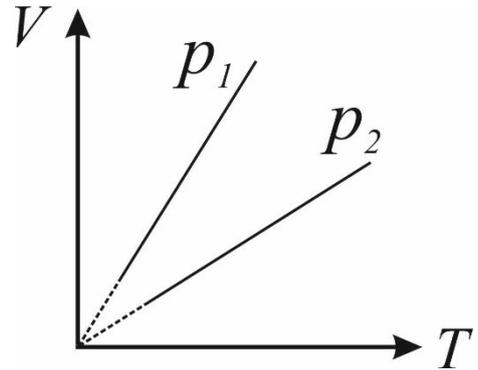
здесь p – давление газа; V – объем газа. Процесс происходит при постоянном количестве вещества $\nu = \text{const}$ и температуре $T = \text{const}$. Графиком изотермического процесса в осях p, V является гипербола (на рисунке $T_2 > T_1$).



Изобарический процесс $p = \text{const}$. Закон Гей-Люссака.

$$\frac{V}{T} = \text{const},$$

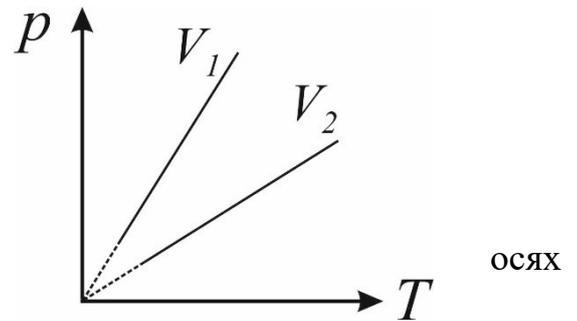
здесь V – объем газа; T – термодинамическая температура газа. Процесс происходит при постоянном количестве вещества $\nu = \text{const}$ и давлении $p = \text{const}$. Графиком изобарического процесса в осях V, T является прямая (на рисунке $p_2 > p_1$).



Изохорический процесс $V = \text{const}$. Закон Шарля.

$$\frac{p}{T} = \text{const},$$

здесь p – давление газа; T – термодинамическая температура газа. Процесс происходит при постоянном количестве вещества $\nu = \text{const}$ и объеме $V = \text{const}$. Графиком изохорического процесса в p, T является прямая (на рисунке $V_2 > V_1$).



- Внутренняя энергия идеального одноатомного газа**

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV,$$

здесь p – давление газа, T – термодинамическая температура газа, V – объем газа, ν – количество вещества газа, $[U] = \text{Дж}$.

- Первое начало термодинамики**

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

здесь Q – количество теплоты, подведенное к газу ($Q > 0$) или отведенное от газа ($Q < 0$), ΔU – изменение внутренней энергии газа, A – работа, совершенная газом, $A' = -A$ – работа, совершенная внешней силой над газом.

- **Количество теплоты**

$$Q = cm\Delta T$$

здесь Q ($[Q] = \text{Дж}$) – количество теплоты, подведенное к веществу, для увеличения его температуры на ΔT ; m – масса вещества, c ($[c] = \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$) – удельная теплоемкость вещества.

$$Q_{\text{пар.}} = rm, \quad Q_{\text{конд.}} = -Q_{\text{пар.}}$$

здесь $Q_{\text{пар.}}$ – количество теплоты необходимое для превращения в пар m килограмм жидкости при постоянной температуре; r ($[r] = \text{Дж}/\text{кг}$) – удельная теплота парообразования жидкости; $Q_{\text{конд.}}$ – количество теплоты, выделяемое при превращении m килограмм пара при постоянной температуре в жидкость (конденсация)

$$Q_{\text{плав.}} = \lambda m, \quad Q_{\text{крист.}} = -Q_{\text{плав.}}$$

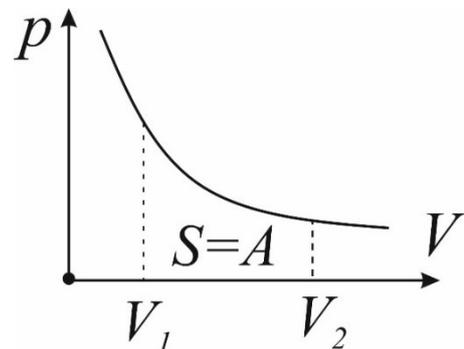
здесь $Q_{\text{плав.}}$ – количество теплоты необходимое для плавления m килограмм вещества при постоянной температуре; λ ($[\lambda] = \text{Дж}/\text{кг}$) – удельная теплота плавления; $Q_{\text{крист.}}$ – количество теплоты, выделяемое при превращении m килограмм жидкости в твердое тело (кристаллизация).

- **Работа газа при изобарном процессе $p = \text{const}$**

$$A = p\Delta V,$$

здесь ΔV – приращение объема газа, $[A] = \text{Дж}$.

Работа газа при других процессах численно равна площади под графиком зависимости $p(V)$.



- **Адиабатический процесс**

Адиабатический процесс – процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой т.е. $Q = 0$.

Первое начало термодинамики для адиабатического процесса имеет вид:

$$\Delta U = -A$$

- **Коэффициент полезного действия теплового двигателя**

$$\eta = \frac{Q_n - |Q_x|}{Q_n},$$

здесь $Q_n > 0$ – количество теплоты, полученное газом от нагревателя, $Q_x < 0$ – количество теплоты, отданное газом холодильнику.

- **Коэффициент полезного действия цикла Карно**

$$\eta_{\text{Карно}} = \frac{T_n - T_x}{T_n}$$

здесь T_n – температура нагревателя, T_x – температура холодильника.

КПД любой тепловой машины, меньше КПД машины с циклом Карно при условии равенства температур их нагревателей и холодильников:

$$\eta_{\text{тепл.маш}} = \frac{Q_n - |Q_x|}{Q_n} < \eta_{\text{Карно}} = \frac{T_n - T_x}{T_n}.$$

- **Второе начало термодинамики**

Формулировка Кельвина: *невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение всей теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу.*

Формулировка Клаузиуса: *невозможен процесс, единственным результатом которого является передача энергии в форме теплоты от холодного тела к горячему.*

