

Лекция 12.

«Изопроцессы»

Теплоемкостью тела называют коэффициент пропорциональности между изменением его t и кол-ом подведенной теплоты. $C = \frac{Q}{\Delta T}$ [Дж/К]

Удельная теплоемкость вещества называется теплоемкость одного моля вещества $C_m = \frac{C}{\nu} = \frac{Q}{\nu \Delta T}$ [Дж/моль·К]

Чтобы изменить T от T_n до T_k : $Q = \nu C_{mz} (T_k - T_n) =$
 $= c m \Delta T$, где n - вещества; $Q = \nu C_m (T_k - T_n)$; $C_m = c M$

Процессы.

① Изокорический - процесс изменения состояния газа, при котором объем газа $\text{const} = V$, $\frac{P}{T} = \text{const}$



Т.к. $V = \text{const} \Rightarrow A = 0 \Rightarrow Q = \Delta U$
 $\Delta U = U_k - U_n = \nu \cdot \frac{i}{2} R (T_k - T_n) = \nu \cdot \frac{i}{2} R \Delta T$

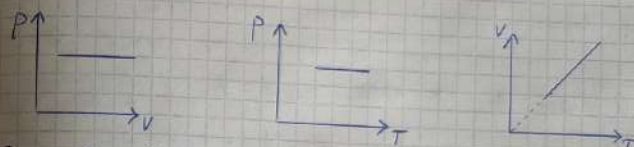
И молярная теплоемкость $= C_v \Rightarrow Q = \nu C_v \Delta T$:

$$Q_{v, \text{const}} = \nu \cdot C_v \cdot \Delta T = \nu \cdot \frac{i}{2} R \cdot \Delta T$$

Для изокорной моль-й теп-и $(C_v = \frac{iR}{2})$; $\Delta U = \nu C_v \Delta T$

	Одноатомный	Двухатомный $i=5$	Многоатомный $i=6$
C_v	$C_v = \frac{3}{2} R$	$C_v = \frac{5}{2} R$	$C_v = 3 R$

② Изобарический процесс - процесс изменения состояния газа, при котором давление газа остается $p = \text{const}$: $\frac{V}{T} = \text{const}$



Тут $A = p(V_k - V_n)$; $Q = \Delta U + A = \nu C_v \Delta T + p(V_k - V_n)$

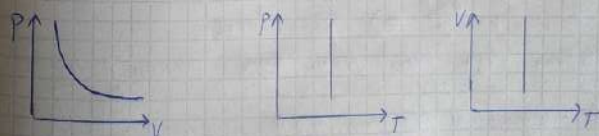
Из уравнения М-К $p(V_k - V_n) = \frac{m}{M} R (T_k - T_n) = \nu R \Delta T$

Поэтому $Q = \Delta U + A = \nu C_v \Delta T + p(V_k - V_n) = \nu C_v \Delta T + \nu R \Delta T =$
 $= \nu (C_v + R) \Delta T$

И моляр-я теп-и $= C_p \Rightarrow Q_{p, \text{const}} = \nu C_p \Delta T = \nu (C_v + R) \Delta T$
 $C_p = C_v + R$ - соотношение Майера $\Rightarrow C_p = \frac{i+2}{2} R = \frac{i+2}{2} R$

	Одноатомный $i=3$	Двухатомный $i=5$	Многоатомный $i=6$
C_p	$C_p = \frac{5}{2} R$	$C_p = \frac{7}{2} R$	$C_p = 4 R$

③ Изотермический процесс - процесс изм-ия состояния газа, при котором $T = \text{const}$: $pV = \text{const}$



Т.к. $T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$
 $A = \int_{V_n}^{V_k} p dV = \int_{V_n}^{V_k} \frac{\nu R T}{V} dV = \nu R T \ln \left(\frac{V_k}{V_n} \right)$

Теплоемкости в этом процессе не определяются. Они бесконечно большие.

4. Адиабатический процесс - процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой $Q=0$.

$$0 = \Delta U + A \Leftrightarrow -\Delta U = A \text{ - без сов-т работы за счет кин. энергии}$$

Для малых измен-ий пар-ов: $\delta U + p \delta V = 0$

$$\delta T = \frac{V \delta p + p \delta V}{C_V}$$

$$\text{Тогда: } C_V \delta T + p \delta V = 0; \quad C_V \frac{V \delta p + p \delta V}{C_V} + p \delta V = 0; \quad C_V \delta p + (C_V + p)V \delta V = 0$$

Урав-е для адиаб-го процесса: $pV^\gamma = \text{const}$ (Ур-е Пуассона)

Коэффициент $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ - показатель адиабаты (коэф. Пуассона)

Для идеального газа $\gamma = \frac{i+2}{i}$

	Однотомный $i=3$	Двухатомный $i=5$	Многочетный $i=6$
γ	$\gamma = \frac{5}{3}$	$\gamma = \frac{7}{5}$	$\gamma = \frac{4}{3}$

Следствия

1. Ур-е адиаб-го процесса $pV^\gamma = \text{const}$

$$\text{При } p = \frac{DRT}{V} \Rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$\text{При } V = \frac{DRT}{p} \Rightarrow \frac{T}{p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \text{const}$$

2. Работа газа равна убыли кин. энергии $A = -\Delta U = C_V(T_1 - T_2)$

3. В коорд-х (V, p) адиабаты - кривые изотермы:

$$\text{Изот-й процесс: } p = \frac{\text{const}}{V}, \quad \frac{dp}{p} = -\frac{\text{const}}{V^2} dV$$

$$\text{Адиаб-й процесс: } p = \frac{\text{const}}{V^\gamma}, \quad \frac{dp}{p} = -\gamma \frac{\text{const}}{V^{\gamma+1}} dV$$



Замечания

• Скорость звук-х колебаний в газе $v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$

• Плотность газа $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m \mu}{V \mu}$

• Звук-е кол-а в воздухе - адиаб-й процесс $pV^\gamma = \text{const} \Rightarrow \frac{p}{\rho^\gamma} = \text{const} \Leftrightarrow v = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$

• Для идеал-го газа $M-K: \rho = \frac{p}{v} = \frac{pM}{RT}, \quad v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$

Полипроцесс - процесс термодинамический, протекающий при постоянной $C = \text{const}$ (температура)

$$\delta Q = \delta U + \delta A \Rightarrow (C - C_V) V \delta p + (C - C_V - p) \delta V = 0$$

Показатель полит-го процесса $n = \frac{C - C_V}{C - C_V - p}$

Уравнение полит-го процесса $pV^n = \text{const}$

$$\text{Работ при полит-ом процессе } A = \int p dV = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right)$$

Частные случаи процесса:

1. Пусть $C > C_V \Rightarrow n > 1$ тогда $p^\frac{1}{n} V = \text{const}$ тогда $V = \text{const}$
2. Пусть $C = C_V$ тогда $n = 0$ и $pV^0 = p = \text{const}$ - изобарный
3. Пусть $C = 0$ тогда $n = -\frac{C_V}{p} = \gamma$ и $pV^\gamma = \text{const}$ - адиаб-й
4. Пусть $C = \infty$ тогда $n = 1$ $pV = pRT = \text{const}$ - изотермический

Газ: Ван-дер-Ваальса

$$\left(p + \frac{a \cdot D^2}{V^2} \right) (V - b \cdot D) = DRT \text{ - неидеальный газ}$$

a и b - const

T при которых 3 корня - критическая.

$$V_{кр} = 3b \cdot \nu$$

$$p_{кр} = \frac{a \nu^2}{3V_{кр}^2} = \frac{a}{27b^2}$$

$$T_{кр} = \frac{3 p_{кр} V_{кр} - 2 b p_{кр}}{R} = \frac{8a}{27 R b}$$

$$\bar{T} = \frac{T}{T_{кр}}$$

$$\bar{V} = \frac{V}{V_{кр}}$$

$$\bar{p} = \frac{p}{p_{кр}}$$

$$\left(\bar{p} + \frac{3}{\bar{V}^2} \right) (3\bar{V} - 1) = 8\bar{T} \quad - \text{ для всех газов.}$$

Приведенное ур-ие Ван-дер-Ваальса.

Следует, что любые два безр-х параметра опред-т третий независимо от свойств газа, даже для газов != идеальности.

Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса

$U = W_{кин} + W_{пот}$ При $\uparrow V$ рас-е между молекулами $\uparrow \Rightarrow W_{п} \downarrow$ и в пределе бескон-го V $W_{п} = 0$.

$$U \xrightarrow{V \rightarrow \infty} U_{из} = \nu C_v T$$

Для любой адиаб-й изот-ой системы $dU = -\delta A$

Для идеального газа $dU_{из} = -p_{из} dV_{из}$.

$$\text{Для газа Ван-дер-Ваальса } U = \nu C_v T - \frac{a \cdot \nu^2}{V}$$

$U_{пот} \sim V$. If газ расшир-ся при $U = const$, то $T \downarrow$. Значение показателя T реал-го газа при адиабатном расширении в пустоту - эффект Джоуля-Томсона и наблюд-ся из-за того, что газ реальный.

Вопрос 12.

① Теплоемкость тела - количество теплоты и температура, изменяется оно в и кон-ом процесс и теплоемкость.

Удельная теплоемкость - теплоемкость одного моля вещества.

Молярная теплоемкость - отношение теплоемкости к количеству вещества, теплоемкость одного моля вещества.

Не зависит, т.к. теплоемкость - свойство материала.

② Политермический процесс - процесс термический, протекающий при $C = \text{const}$, $pV^n = \text{const}$.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1-n}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$$

③ Изотермический - процесс изменения состояния газа при $T = \text{const}$, $pV = \text{const}$.

Изобарный - процесс изменения состояния газа при $p = \text{const}$.

Изохорный - изменение состояния газа при $V = \text{const}$.

При $V = \text{const}$ $C_V = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_V = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{i}{2} R$

При $p = \text{const}$ $C_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_P = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{i+2}{2} R$

④ Адиабатический - процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой, $Q = 0$.

Коэффициент $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ - показатель адиабаты (коэффициент Пуассона).

5. В модели газа Ван-дер-Ваальса учитываются взаимодействия между молекулами \Rightarrow уменьшение давления газа и размер молекул \Rightarrow уменьшение объема, занимаемого газом.

Ван-дер-Ваальсовы силы взаимодействия молекул обуславливают возможность существования агрегатных состояний реальных газов.

- Ориентационное взаимодействие между молекулами.
- Индукционное взаимодействие между молекулами.
- Дисперсионное взаимодействие между молекулами.

Внутренняя энергия Ван-дер-Ваальсова газа зависит от количества вещества, температуры, объема, массы молекул и полярности, взаимного притяжения молекул.

$$E_k = \int_0^T C_V dT \quad E_0 = -\frac{a}{V_m}$$