

## Лекция №12

Теплоёмкость газа при изопроцессах. Адиабатический процесс, уравнение Пуассона. Политропический процесс. Теплоёмкость и работа в политропических процессах. Газ Ван-Дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-Дер-Ваальса.

Теплоёмкость - коэффициент пропорциональности между изменением энтропии и количеством подведённой теплоты.

$$C = Q / \Delta T \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right]$$

Удельная теплоёмкость - теплоёмкость единицы массы этого вещества.

$$C_{уд} = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \Delta T} \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кг}} \right]$$

Чтобы телу изменить свою температуру от  $T_H$  до  $T_K$  надо сообщить кол-во теплоты:

$$Q = m C_{уд} (T_K - T_H)$$

$m$  - масса вещ-ва

$C_{уд}$  - удельная теплоёмкость  $\left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кг}} \right]$

$(T_K - T_H)$  - разность конечной и начальной температуры

Аналогично:

$$Q = \nu C_m (T_K - T_H)$$

$\nu$  - кол-во молей вещ-ва

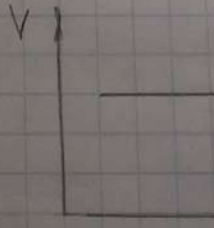
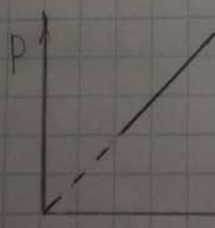
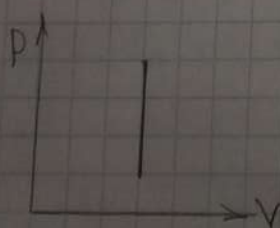
$C_m$  - молярная теплоёмкость

Теплота, полученная - положительная; теплота, отданная - отрицательная.

Изопроцессы - процессы, в которых 1 из параметров постоянен.

① Изохорический (изохорный) процесс.

$$V = \text{const} \Rightarrow P/T = \text{const}$$



т.к.  $V = \text{const} \Rightarrow A = 0$  работа газа  $\Rightarrow$  тепло всё идёт на изменение внутрен. энер.

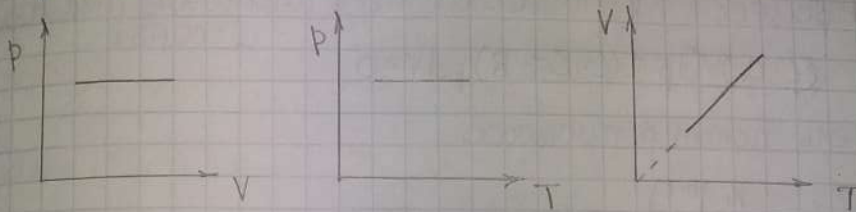
$$\text{или: } Q = \Delta U \quad \Delta U = U_K - U_H = \nu \frac{i}{2} R (T_K - T_H) = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \quad Q = \nu C_m \Delta T$$

$\uparrow$  начало термодинам.



## ② Изобарический (изобарный) процесс

$$p = \text{const} \Rightarrow V/T = \text{const}$$



Работа газа  $A = p(V_k - V_n)$ ; 1-й закон термодинамики:  $Q = \Delta U + A = \int C_V dT + p(V_k - V_n)$

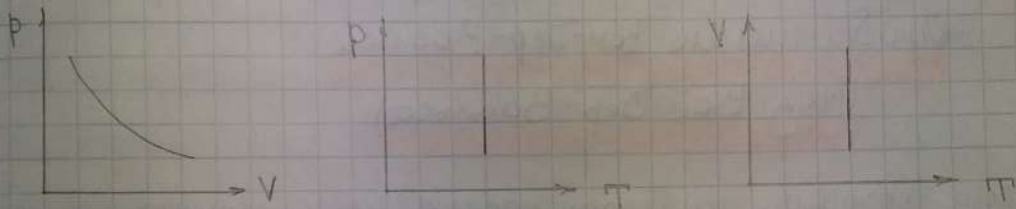
Ур-е Менделеева-Клапейрона:  $p(V_k - V_n) = \frac{m}{\mu} R(T_k - T_n) = \frac{m}{\mu} R \Delta T = \int R dT$

$$Q = \Delta U + A = \int C_V dT + \int R dT = \int (C_V + R) dT;$$

$$Q = \int C_p dT = \int (C_V + R) dT \Rightarrow C_p = C_V + R - \text{соотношение Майера}$$

## ③ Изотермический процесс

$$T = \text{const} \Rightarrow pV = \text{const}$$



$$\text{т.к. } T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$$

## ④ Адиабатический (адиабатный) процесс

- процесс, происходящий без теплообмена

1-й закон термодинамики:  $Q = \Delta U + A$  или  $-\Delta U = A$   
 $A$  - положительна, если  $\downarrow$  внутр. энергия

$$pV^\gamma = \text{const} - \text{ур-е Пуассона}$$

$\gamma = C_p/C_V$  - показатель адиабаты (коэффициент Пуассона)

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

Следствия:

$$① TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$② T^\gamma / p^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$③ \gamma = C_p/C_V = \frac{C_V + R}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V} > 1$$

Скорость звуковых колебаний в газе.  $V = \sqrt{dp/d\rho}$

звук. колеб. - адиабат. проц.

$$pV^\gamma = \text{const} \Rightarrow p/\rho^\gamma = \text{const} \Rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \gamma \frac{p}{\rho}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT} \Rightarrow \frac{p}{\rho} = \frac{RT}{\mu} \Rightarrow V = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

При н.у.  $\gamma \approx 1.4$  для воздуха;  $V \approx 347 \text{ м/с}$



## Политропический процесс.

- термодинам. процесс, протекающий при постоян. теплоемкости  $C = \text{const}$

Ур-е политр. прои.:  $pV^n = \text{const}$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} \text{ - покр-ель политр. процесса}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right) \text{ - работа при}$$

Застные случаи:

- ①  $C \rightarrow C_v, n \rightarrow \infty$ ;  $p^{\frac{1}{n}} V = \text{const}$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} p^{\frac{1}{n}} V = V = \text{const} \Rightarrow$  изохорический процесс
- ②  $C = C_p, n = 0$ ;  $pV^0 = p = \text{const} \Rightarrow$  изобарический процесс
- ③  $C = 0, n = \frac{-C_p}{-C_v} = \gamma$ ;  $pV^\gamma = \text{const} \Rightarrow$  адиабатический процесс
- ④  $C = \infty, n = 1$ ;  $pV = \gamma RT = \text{const} \Rightarrow$  изотермический процесс

## Приближение Ван-Дер-Ваальса.

(газ Ван-Дер-Ваальса)

Идеальный газ состоит из мат. точек, не имеющих размер. Объемом молекул газа можно пренебречь.

$$\left( p + \frac{aV^2}{V^2} \right) (V - b) = \gamma RT \text{ - ур-е Ван-Дер-Ваальса для неидеального газа}$$

Газ Ван-Дер-Ваальса - газ, для которого справедливо ур-е Ван-Дер-Ваальса.

$$\left( p + \frac{3}{V^2} \right) (3V - 1) = 8T \text{ - приведен. ур-е Ван-Дер-Ваальса} \quad ④$$

В ур-е Ван-Дер-Ваальса применимо не во всем диапазоне изменения параметров

## Внутренняя энергия газа Ван-Дер-Ваальса.

Внутрен. энергия неидеального газа - сумма кинетич. энергии движ. молекул и потенциальной энергии их взаимодействия

$$U = W_{\text{кин}} + W_{\text{пот}}$$

$$U = \gamma RT - \frac{aV^2}{V}$$



Эффект Джоуля-Томсона: явление понижения температуры  
реального газа при адиабатическом расширении в пустоту  
из-за того, что газ неидеален

Ответы на вопрос:

① Теплоемкость - коэффициент пропорциональности между  
изменением его температуры и кол-вом подведенной теплоты.  
Удельная теплоемкость - теплоемкость единицы массы  
этого вещества.

Молярная теплоемкость - теплоемкость одного моля вещества.  
Теплоемкость не зависит от способа, которым  
системе сообщается тепло.

② Политропические процессы - термодинамич. процесс, про-  
текающий при постоянном теплоемкости.

Уравнение политроп. процесса:  $pV^n = \text{const}$

③ Изохорический (изохорный) процесс:  $V = \text{const}$   
Изобарический (изобарный) процесс:  $p = \text{const}$   
Изотермический процесс:  $T = \text{const}$

} процесс  
изменения  
состояния  
газа

Связь между теплоемкостями при постоян. давлении и  
объеме:  $\frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$

④ Адиабатический процесс - процесс, происходящий без  
теплообмена

$\gamma = C_p/C_v$  - показатель адиабаты

⑤ В модели газа Ван-Дер-Ваальса учитывается притя-  
жение между молекулами, объем молекул.

Между электронами, ядрами 1 молекулы и электронами,  
ядрами другой существует кулоновская сила взаимодействия.  
Энергия внутр. газа Ван-Дер-Ваальса - сумма кинетич. эн-  
ергии теплового движ. молекул и потенциальн. энергии взаимного  
притягив. молекул. Т.е. внутр. энергия зависит от температуры.