

Лекция 12

Теплоемкость газа при изотропическом, Адиабатическом, изотермическом, уравнивании  $\Delta T$  процесса. Полиатомический процесс. Теплоемкость в работе в полиатомическом процессе. Газ Ван-дер-Ваальса. Внутр. энергия газа Ван-дер-Ваальса

Теплоемкость - коэф. пропорц между  $\Delta T$  и количеством теплоты.

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

Удельная теплоемкость - теплоемкость единицы массы

этого веш-ва

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

Чтобы тело из  $T_n$  до  $T_k$  надо сообщ. кол-во теплоты  $Q = m c_{уд} (T_k - T_n)$

$m$  - масса веш-ва

$c_{уд}$  - удельная теплоемкость

$(T_k - T_n)$  - дельта температур

Аналогично  $Q = \nu \mu (T_k - T_n)$

$\nu$  - кол-во молей веш-ва

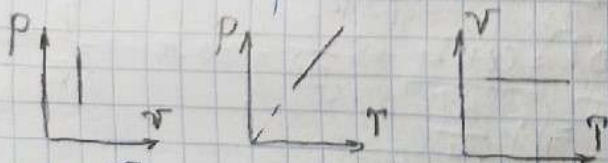
$\mu$  - молярная теплоемкость

Теплота, полученная - плюс; отданная - минус.

• Изотропический - процесс, в котором 1 из параметров постоянен.

① Изотермический (изотермический) процесс

$$T = const \Rightarrow \frac{P}{T} = const$$



Т.к.  $T = const \Rightarrow A = 0 \Rightarrow$  тепло идет на изм. внутр. энергии или

$$Q = \Delta U : \Delta U = U_k - U_n = \nu \frac{i}{2} R (T_k - T_n) = \nu \frac{i}{2} R \Delta T = \nu C_v \Delta T$$



## ② Изобарический (изобарный) процесс

$$p = \text{const} \rightarrow \frac{V}{T} = \text{const}$$



Работа газа:  $A = p(V_k - V_n)$ .  $\delta$  не берем.  $Q = \Delta U + A = \nu C_p \Delta T = p(V_k - V_n)$

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

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

$$Q = \nu C_p \Delta T = \nu (C_p + R) \Delta T \Rightarrow C_p = C_v + R - \text{счит. Майера}$$

## ③ Изотермический процесс

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



$$T, \text{ и } T = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = A$$

## ④ Адиабатический (адиабатный) процесс

- процесс,  $\delta$  проход. без теплообмена

1 начало термодинамики:  $0 = \Delta U + A$  или  $-\Delta U = A$   
Адиабат, если изменение внутренней энергии

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

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

для идеал. газа:  $\gamma = \frac{i+2}{i}$

следует:

$$① pV^\gamma = \text{const}$$

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

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

скорость звука в газе.  $v = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$

Звук в газе - адиаб. проц.  $pV^\gamma = \text{const} \Rightarrow \frac{p}{V^\gamma} = \text{const} \Rightarrow \frac{dp}{dV} = -\gamma \frac{p}{V}$

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

Для н.г.  $\gamma \approx 1,4$  для возд.  $v \approx 347 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



## Изотермический процесс

- термодинамический процесс, протекающий при постоянной температуре ( $T = \text{const}$ )  
 для идеального газа:  $pV^n = \text{const}$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} - \text{показатель политропы, зависит от газа}$$

$$p = \int p dv = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left( 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{n-1} \right) - \text{работа}$$

Закон Савари:

$$① C = C_p, n = \infty; p v^\infty = \text{const} \Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} p v^\infty = T = \text{const} \rightarrow \text{изотермический}$$

$$② C = C_p, n = 0; p v^0 = \text{const} \Rightarrow \text{изобарический}$$

$$③ C = 0, n = -\frac{C_p}{C_v} = -\gamma \Rightarrow p v^\gamma = \text{const} \rightarrow \text{адиабатический}$$

$$④ C = \infty, n = 1; p v^1 = RT = \text{const} \rightarrow \text{изотермический}$$

## Приближение Ван-дер-Ваальса

(без Ван-дер-Ваальса)

Идеальный газ состоит из молекул, но имеющие размер  
 молекул и между молекулами можно пренебречь

$$\bullet \left( p + \frac{a v^2}{v^2} \right) (v - b) = RT - \text{уравнение Ван-дер-Ваальса}$$

(для реального газа)

$$\bullet \text{ Газ — II — газ, для которого справедливо его уравнение}$$

$$\left( \bar{p} + \frac{3}{\bar{v}^2} \right) (3\bar{v} - 1) = 8T - \text{приведенное уравнение — II —}$$

! Это уравнение применимо не во всех диапазонах изм. параметров

## Внутренняя энергия газа — II —

Внутр. энергия реального газа — сумма кинетической

энергии молекул и потенциальной энергии между молекулами

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

$$U = \gamma C_v T - \frac{a}{v}$$

• Эффект Джоуля-Томсона: изменение температуры реального газа при адиабатическом расширении в вакуум.



Отвечая на вопрос.

1) Теплоемкость - коэф. пропорц. между изм. во температуры и кол-вом подведенной теплоты.

Значение теплоемкости - теплоемкостная единица массы

Молярная теплоемкость - теплоемкость единицы массы

Теплоемкость не зависит от способа передачи тепла

2) Плотность процесса - термодинамический процесс при const теплоемкости

Зр-е  $pV^n = const$

3) Изохорический (изохорный)  $V = const$  } процесс изм. сост. газа

Изобарический (изобарный)  $p = const$

Изотермический  $T = const$

Связь между теплоемкостями при const  $p$  и  $V$   
обозначим  $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$

4) Адиабатический процесс - процесс без теплообмена

$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$  - показатель адиабаты

5) Выводы газа Ван-дер Ваальса учитывает взаимодействие молекул, а также размеры молекул

Между молекулами действуют 3 силы: 1) силы притяжения, 2) силы отталкивания, 3) силы взаимодействия.

Энергия внутри газа  $E_{int}$  - сумма кинетической энергии

тепл. движ. молекул и потенциальной энергии взаимодействия молекул

Энтальпия  $H$ ; Т.е. внутренняя энергия зависит от температуры