

**Термодинамические
процессы с идеальным
газом**

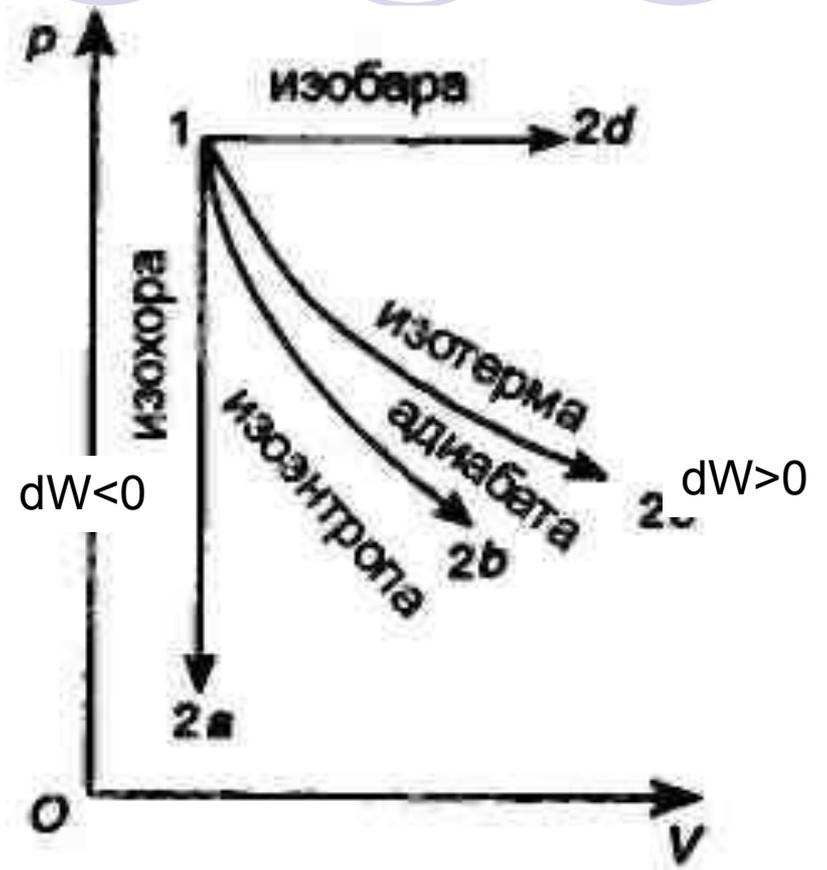
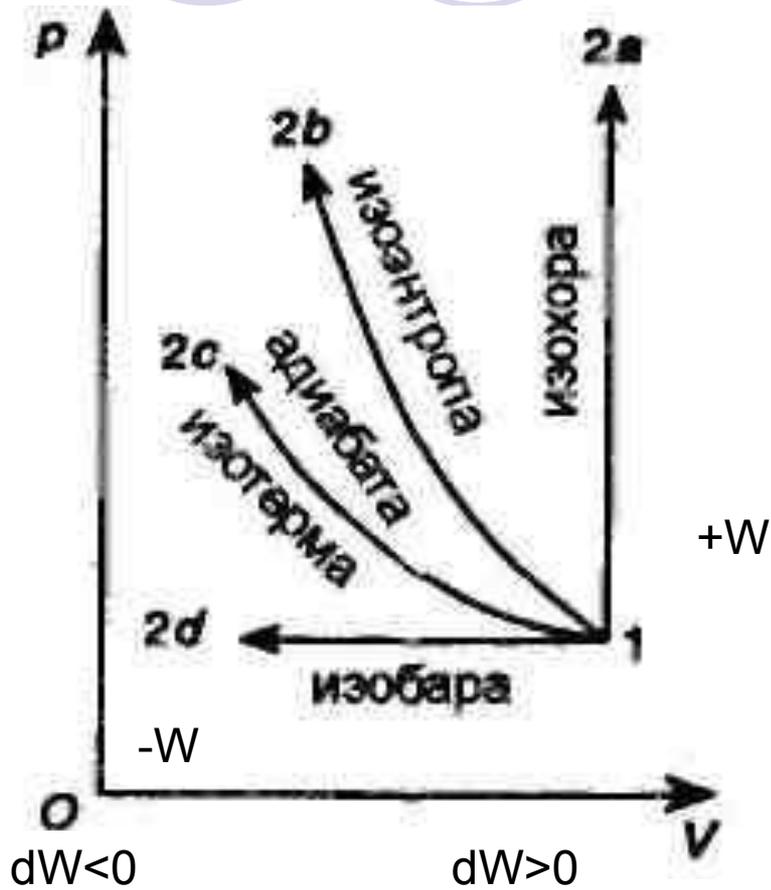
Основные цели изучения термодинамических процессов

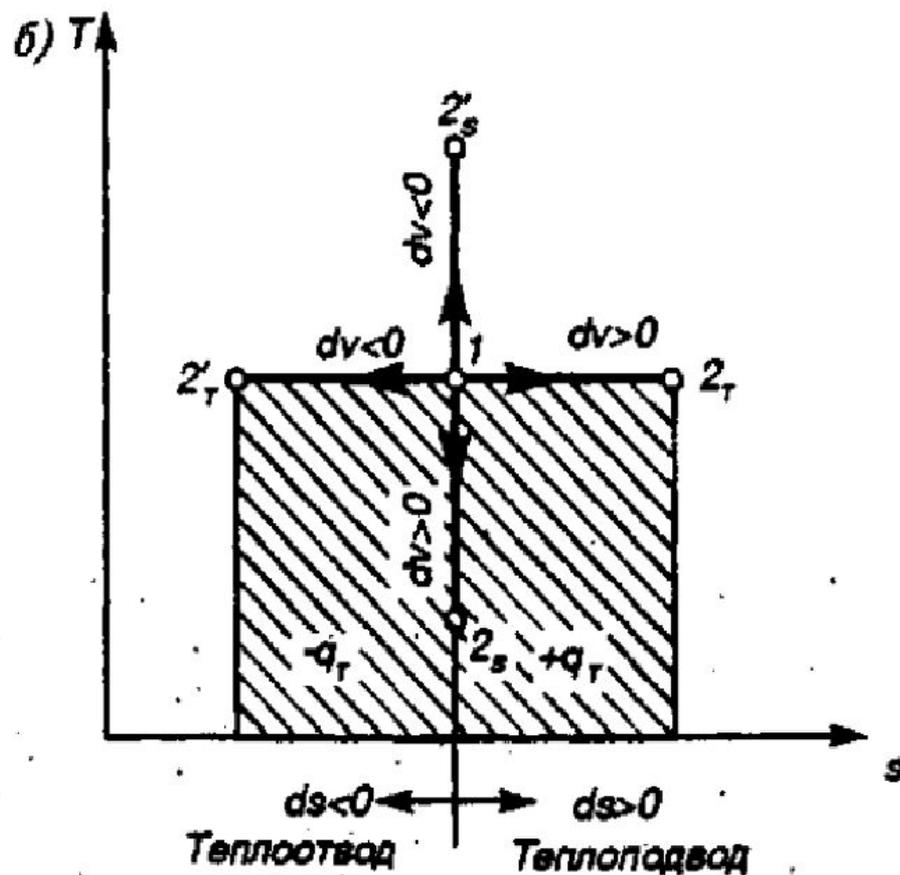
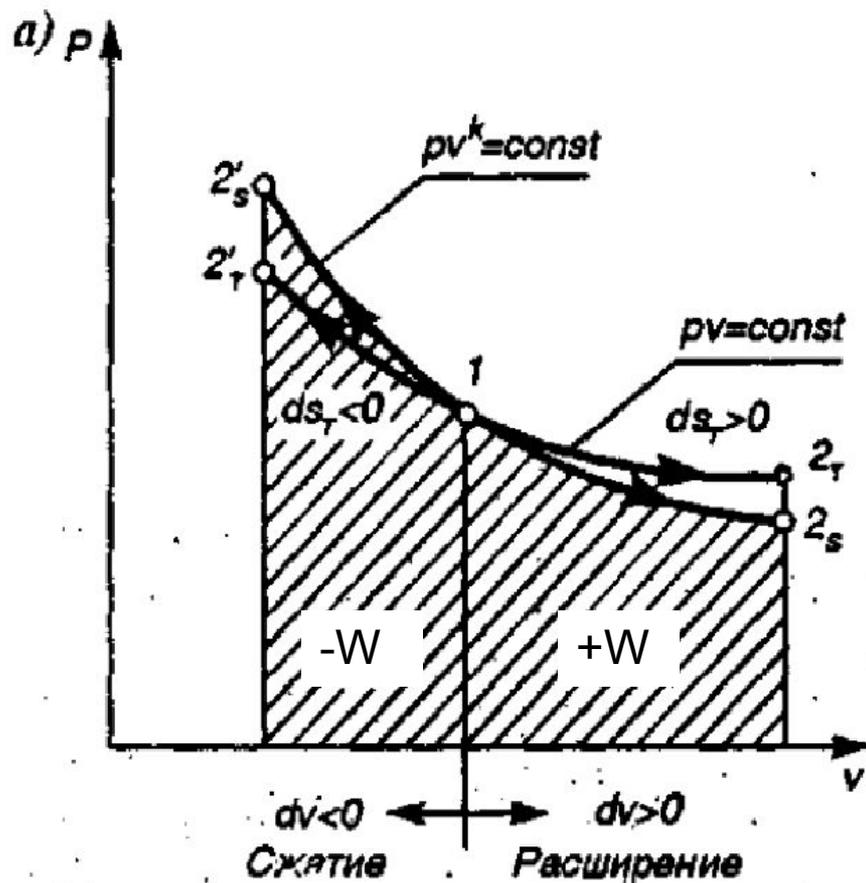
- Установить уравнение процесса, т.е. связь между термодинамическими параметрами;
- Определить работу, совершаемую газом;
- Количество теплоты, сообщаемое газу или отводимое от него в процессе.

Основные изменения состояния, которым может подвергаться газ:

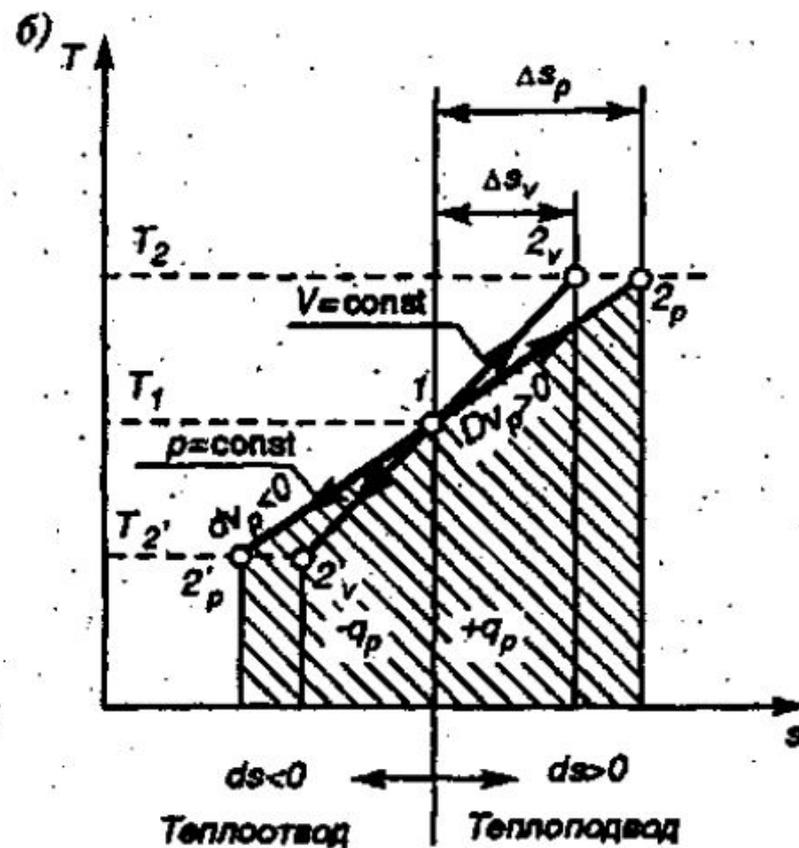
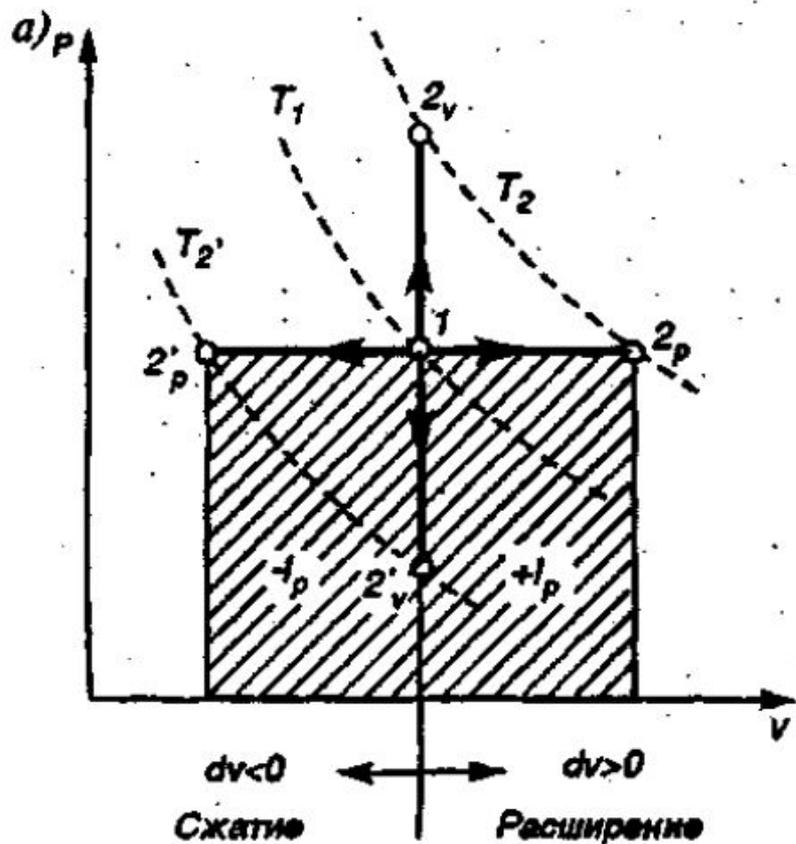
- **Изобарный процесс**, протекающий при постоянном давлении;
- **Изохорный процесс**, протекающий при постоянном объеме;
- **Изотермический процесс**, протекающий при постоянной температуре;
- **Адиабатный или изоэнтروпийный** (т.е. проходящий при постоянной энтропии) процесс, в ходе которого отсутствует теплообмен с внешней средой;
- **Политропный процесс**, в ходе которого изменяются все параметры: давление, объем, температура и происходит обмен теплом с внешней средой

Графическое изображение процессов

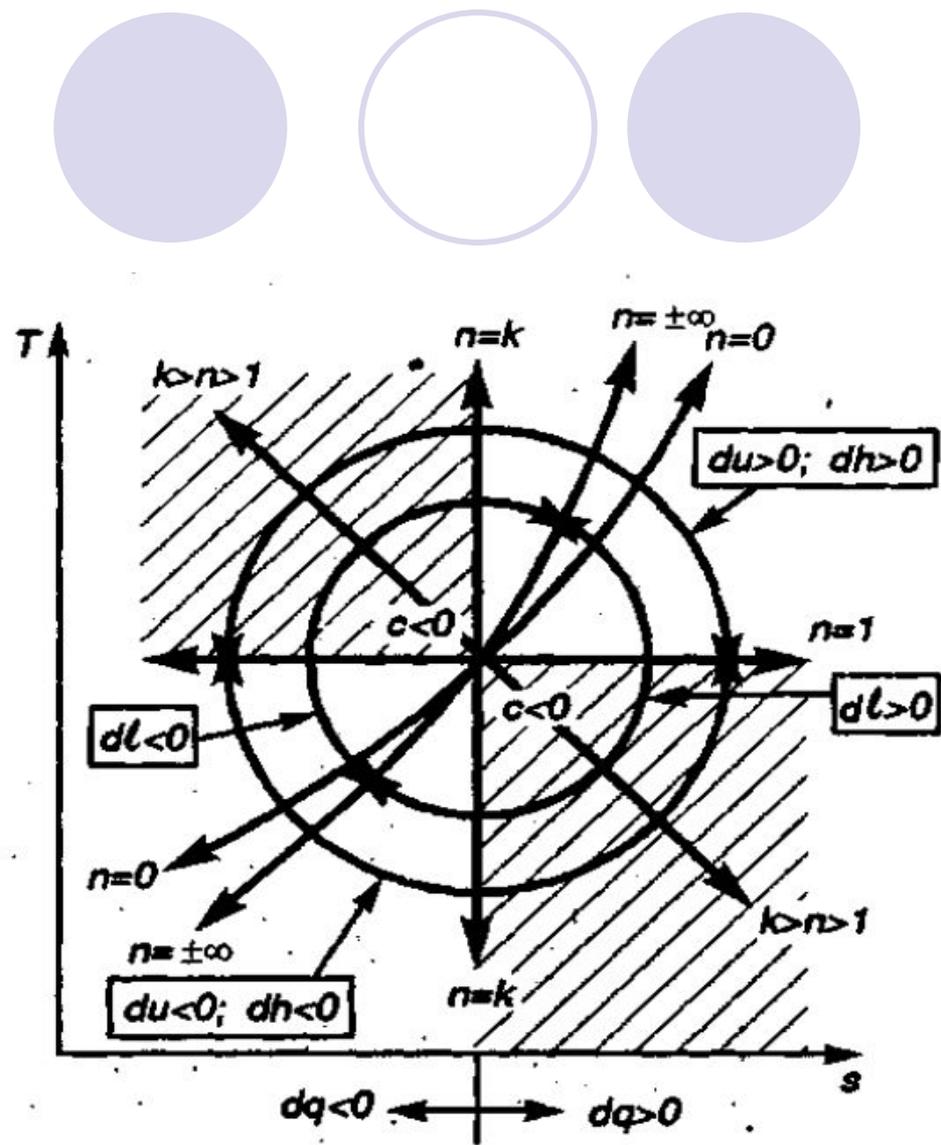
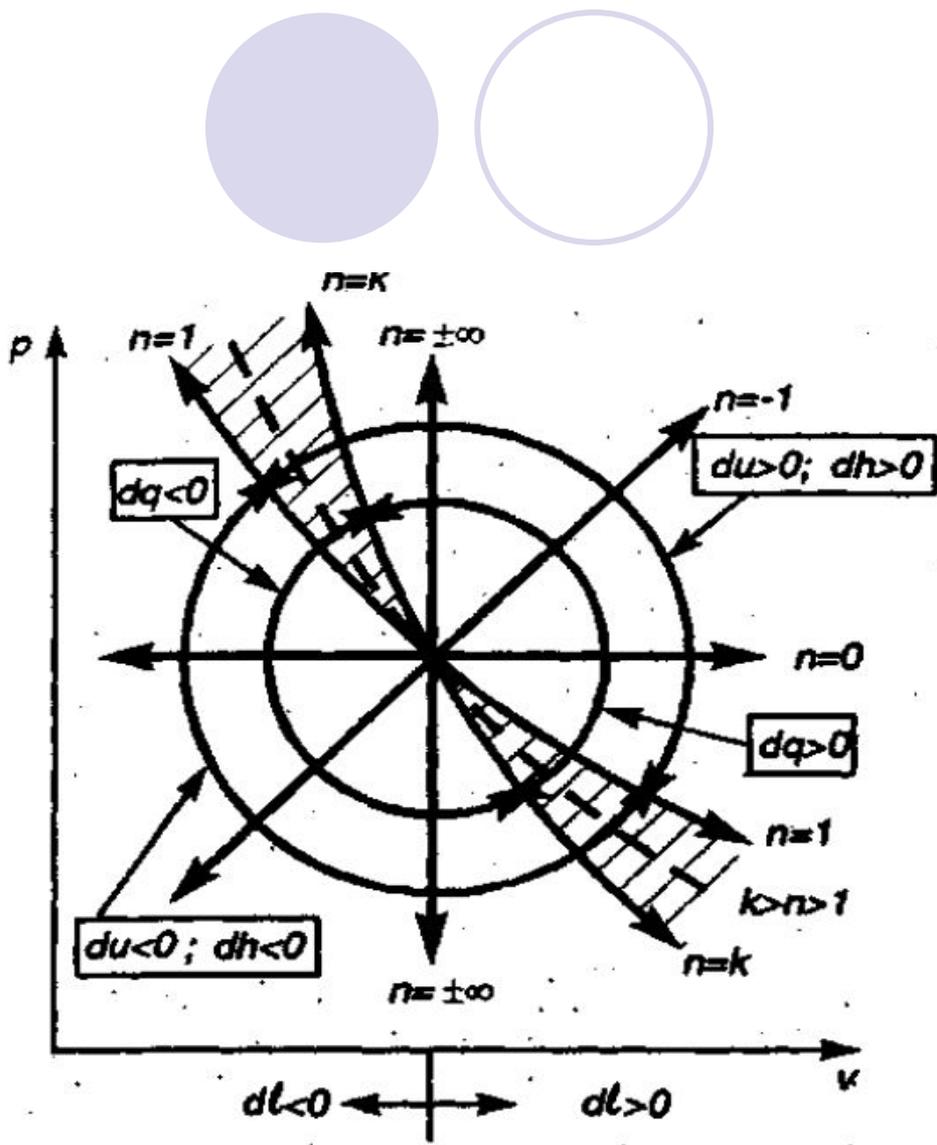




Изотермический и адиабатный процесс



Изобарный и изохорный процессы



Полиτροπные процессы

Изохорный процесс

- $V = \text{const}$
- Уравнение Шарля
- Механическая работа $W = 0$
- Изменение удельной энтропии
- Удельное тепло приведенное к 1 кг вещества

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\Delta s_v = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$q = c_v (T_2 - T_1)$$

Изохорный процесс

- Тепло M кг вещества

$$Q = M \cdot c_{vm} (T_2 - T_1)$$

Изобарный процесс

- $P = \text{const}$

- Закон Гей-Люссака

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

- Удельная

механическая
работа 1 кг газа

$$w = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$$

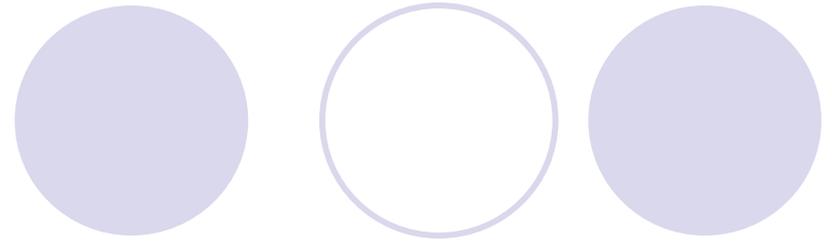
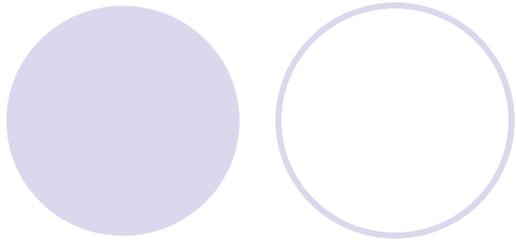
- Изменение энтропии

1 кг газа

$$\Delta s_p = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Удельная теплота 1
кг газа

$$q = c_{pm}(T_2 - T_1)$$



- Механическая работа M кг газа

$$W = p \cdot M(v_2 - v_1) = R \cdot M(T_2 - T_1) = p(V_2 - V_1)$$

- Изменение энтропии M кг газа

$$\Delta S_p = M \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Тепло M кг газа

$$Q = M \cdot c_p (T_2 - T_1)$$

Изотермический процесс

- $p \cdot v = \text{const}$

- Закон Бойля-Мариотта

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

- Удельная механическая работа 1 кг газа

$$w = R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$w = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

- Изменение энтропии 1 кг газа

$$\Delta s_T = R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

- Удельная теплота $q = w$

Изотермический процесс

$$W = M \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = M \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$W = p_1 V_1 \ln \frac{v_2}{v_1}; W = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\Delta S_T = M \cdot R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = M \cdot R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

- Механическая работа M кг газа
- Изменение энтропии M кг газа
- Тепло M кг газа
 $Q=W$

Адиабатный процесс

- $p \cdot v^k = \text{const}$
- Уравнение Пуассона, где $k = c_p / c_v$

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$

$$T_1 v_1^{k-1} = T_2 v_2^{k-1}$$

Зависимости между начальными и конечными параметрами

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

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

Адиабатный процесс

$$w = \frac{(p_1 v_1 - p_2 v_2)}{k - 1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{k - 1}$$

- Механическая работа для 1 кг газа

$$w = \frac{p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)}{k - 1} = \frac{p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right)}{k - 1}$$

- Изменение энтропии 1 кг газа $\Delta s = 0$
- Удельная теплота 1 кг газа $q = 0$

Адиабатный процесс

- Механическая работа M кг

$$W = \frac{(p_1 V_1 - p_2 V_2)}{k - 1} = \frac{R \cdot M(T_1 - T_2)}{k - 1}$$

$$W = \frac{p_1 V_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)}{k - 1} = \frac{p_1 V_1 \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \right)}{k - 1}$$

Политропный процесс

- Соотношение между термодинамическими параметрами

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n;$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}$$

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

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^n; \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}};$$

Политропный процесс

$$W = \frac{k-1}{k-n} q$$

- Механическая работа для 1 кг газа

$$W = \frac{(p_1 v_1 - p_2 v_2)}{n-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$W = \frac{p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}{n-1} = \frac{p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right)}{n-1}$$

Полиτροπный процесс

- Удельная энтропия для 1 кг газа

$$\Delta s = c_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Удельная теплота для 1 кг газа

$$q = c_v \frac{n - k}{n - 1} (T_2 - T_1)$$

ПОЛИТРОПНЫЙ ПРОЦЕСС

- Работа M кг
газа

$$W = M \cdot \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{n-1} = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1} = \frac{M \cdot R(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$W = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right) = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right) = \frac{k-1}{k-n} Q$$

ПОЛИТРОПНЫЙ ПРОЦЕСС

- Энтропия M кг газа

$$\Delta S = M \cdot c_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Теплота M кг газа

$$Q = M \cdot c_v \frac{n - k}{n - 1} (T_2 - T_1) = M \cdot c (T_2 - T_1)$$