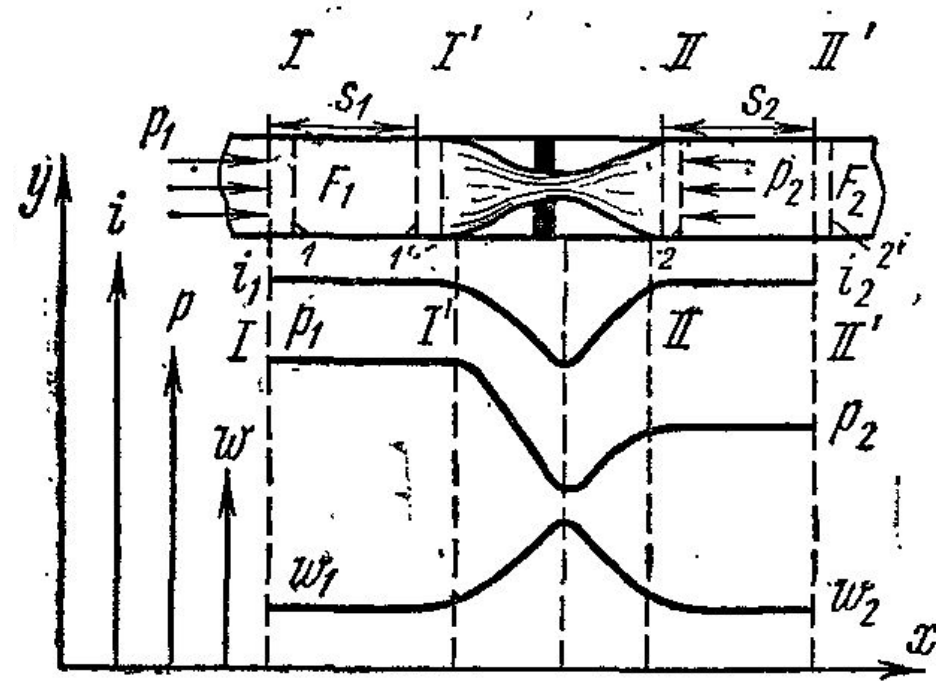


# Дросселирование газов и паров

- **Дросселирование** - это процесс уменьшения давления, в котором нет ни увеличения кинетической энергии, ни совершения технической работы.
- Дросселирование происходит если на пути движения газа или пара в канале встречается препятствие (местное сопротивление), уменьшающее поперечное сечение потока. Давление за препятствием при этом всегда оказывается меньше, чем перед ним.
- В отверстии – скорость возрастает, давление и энтальпия уменьшаются, уд. объем увеличивается.



- После отверстия – энтальпия вновь возрастает и  $i_1 = i_2$ , а давление восстанавливается не полностью. Объем и скорость несколько увеличатся.

# Дросселирование газов и паров

Дросселирование – процесс необратимый, протекающий с увеличением энтропии и уменьшением работоспособности рабочего тела.

При этом часть кинетической энергии затрачивается на работу против сил трения и превращается в теплоту. Температура рабочего тела может как увеличиваться, так и уменьшаться или оставаться неизменной.

$$P_1 > P_2, \quad p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2 = u_2 - u_1 + \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2}; \text{ если } \omega_1 \sim \omega_2, \text{ то } \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} = 0$$

$$\text{тогда } p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2 = u_2 - u_1 \text{ или } (u_1 + p_1 \cdot v_1) - (u_2 + p_2 \cdot v_2) = 0$$

Или  $i_1 - i_2 = 0$  и  $i_1 = i_2$ . т.к. энтальпия – функция температуры, то при дросселировании идеального газа  $T_1 = T_2$ ;

Для реального газа: энтальпия – не меняется, энтропия и объем – увеличиваются, а температура может повышаться, понижаться или оставаться неизменной.

# Эффект Джоуля-Томсона

Работа проталкивания совершается за счет убыли внутренней энергии.

$$u_1 + p_1 v_1 = u_2 + p_2 v_2, \text{ или } u_1 - u_2 = p_2 v_2 - p_1 v_1,$$

Внутренняя энергия состоит из кинетической энергии (функция температуры) и потенциальной энергии (функция температуры и объема).

При дросселировании потенциальная энергия, вследствие увеличения объема, всегда возрастает.

Если  $p_2 v_2 - p_1 v_1 = 0$  и  $u_1 - u_2 = 0$ , а потенциальная энергия возрастает, то кинетическая энергия должна уменьшиться. Следовательно  $T_2 < T_1$  – охлаждение;

Если  $p_2 v_2 > p_1 v_1$ , а  $u_1 > u_2$ , то и  $T_2 < T_1$  – еще большее охлаждение. Не только потенциальная энергия возрастает, но и газом совершается внешняя работа за счет внутренней энергии.

# Эффект Джоуля-Томсона

Как правило  $p_2 v_2 < p_1 v_1$  (внешняя работа отрицательная), значит  $u_1 - u_2 < 0$ ,  $\rightarrow u_1 < u_2$  (внутренняя энергия увеличивается)

а) если  $p_2 v_2 - p_1 v_1 > \Delta u_{\text{пот}}$ , то  $\Delta u_{\text{кин}} \uparrow$  и  $T_1 < T_2$  – нагрев;

б) если  $p_2 v_2 - p_1 v_1 < \Delta u_{\text{пот}}$ , то  $\Delta u_{\text{кин}} \downarrow$  и  $T_1 > T_2$  – охлаждение;

в) если  $p_2 v_2 - p_1 v_1 = \Delta u_{\text{пот}}$ , то  $\Delta u_{\text{кин}} = \text{const}$  и  $T_1 = T_2 = T_{\text{инв}}$  – инверсия газа;

Различают эффекты дросселирования:

*Дифференциальный температурный* – давление и температура

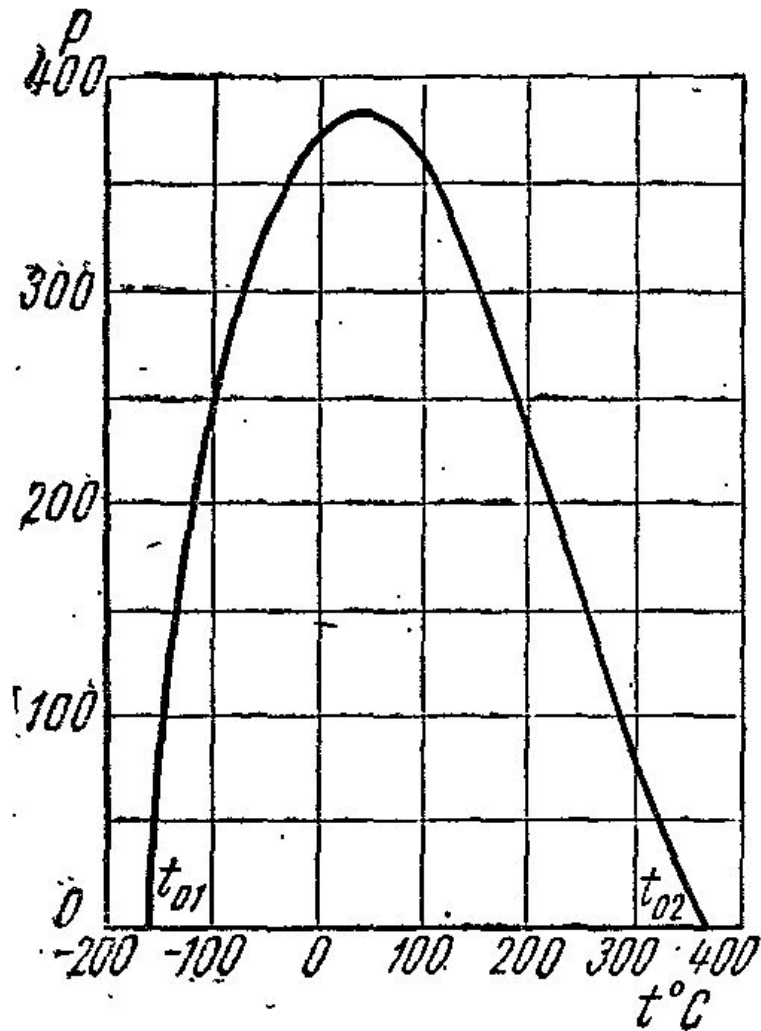
изменяются на бесконечно малую величину;  $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_i = \alpha_i$

$\alpha_i$  - дифференциальный температурный эффект Джоуля-Томсона;

*Интегральный температурный* – давление и температура

изменяются на конечную величину;  $T_2 - T_1 = \int_{p_1}^{p_2} \frac{T(\partial v / \partial T)_p - v}{c_p} dp$

# Кривая инверсии



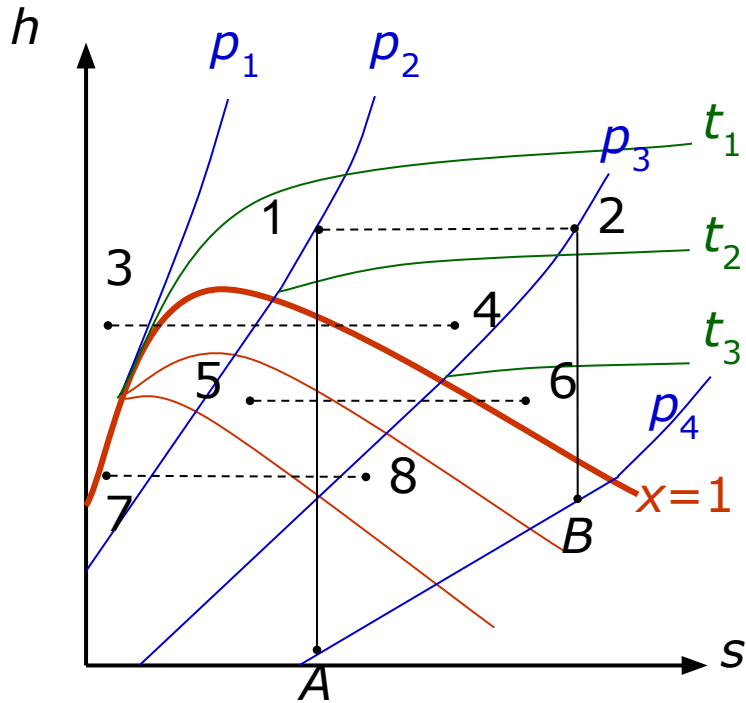
$T_{\text{ин}} = v(\partial T / \partial v)_p$  - уравнение кривой инверсии.

На рисунке – кривая инверсии азота.

При любом значении давления вещество имеет две точки инверсии: одна – в области жидкости, другая – в области перегретого пара (газа).

Все процессы дросселирования, начинающиеся внутри инверсионной кривой, сопровождаются охлаждением вещества; вне кривой – протекают с нагреванием вещества.

# Дросселирование (мятие) пара



Если мятию подвергается перегретый пар 1-2, то давление и температура его уменьшаются, а объем и степень перегрева возрастают.

При дросселировании 3-4 пар последовательно переходит в сухой насыщенный, затем во влажный и снова в перегретый.

Мятие влажного пара 5-6 приводит к росту его степени сухости.

При дросселировании закипающей воды 7-8 она испаряется с увеличением степени сухости пара.