

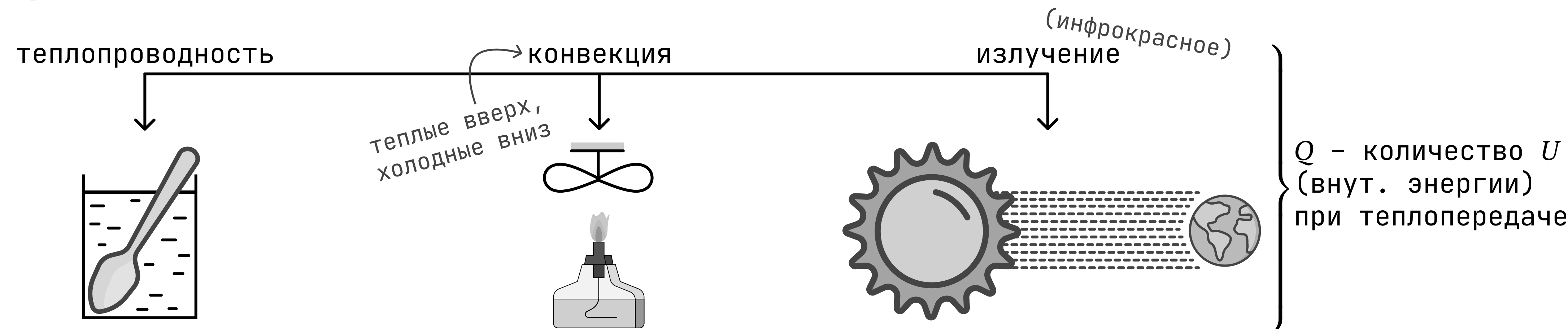
# ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

## ① Основные понятия

$$U = E_k + E_n \rightarrow \text{если ид. газ, то } E_n \rightarrow 0$$

$$U = \bar{E}_1 \cdot N_A \cdot \frac{m}{M} = \frac{3}{2} kT \cdot N_A \cdot \frac{m}{M} = \frac{3}{2} \frac{m}{M} \cdot RT \Rightarrow U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

## ② Способы изменения $U \rightarrow$ работа или теплопередача



## ③ Формулы для различных процессов

$$Q = C \cdot m \cdot \Delta t \rightarrow \text{нагревание, охлаждение}$$

$$Q = q \cdot m \rightarrow \text{сгорание топлива}$$

$$Q = \lambda \cdot m \rightarrow \text{плавление, отвердевание}$$

$$Q = L \cdot m \rightarrow \text{парообразование, конденсация}$$

$$Q > 0 \rightarrow \text{при поглощении}$$

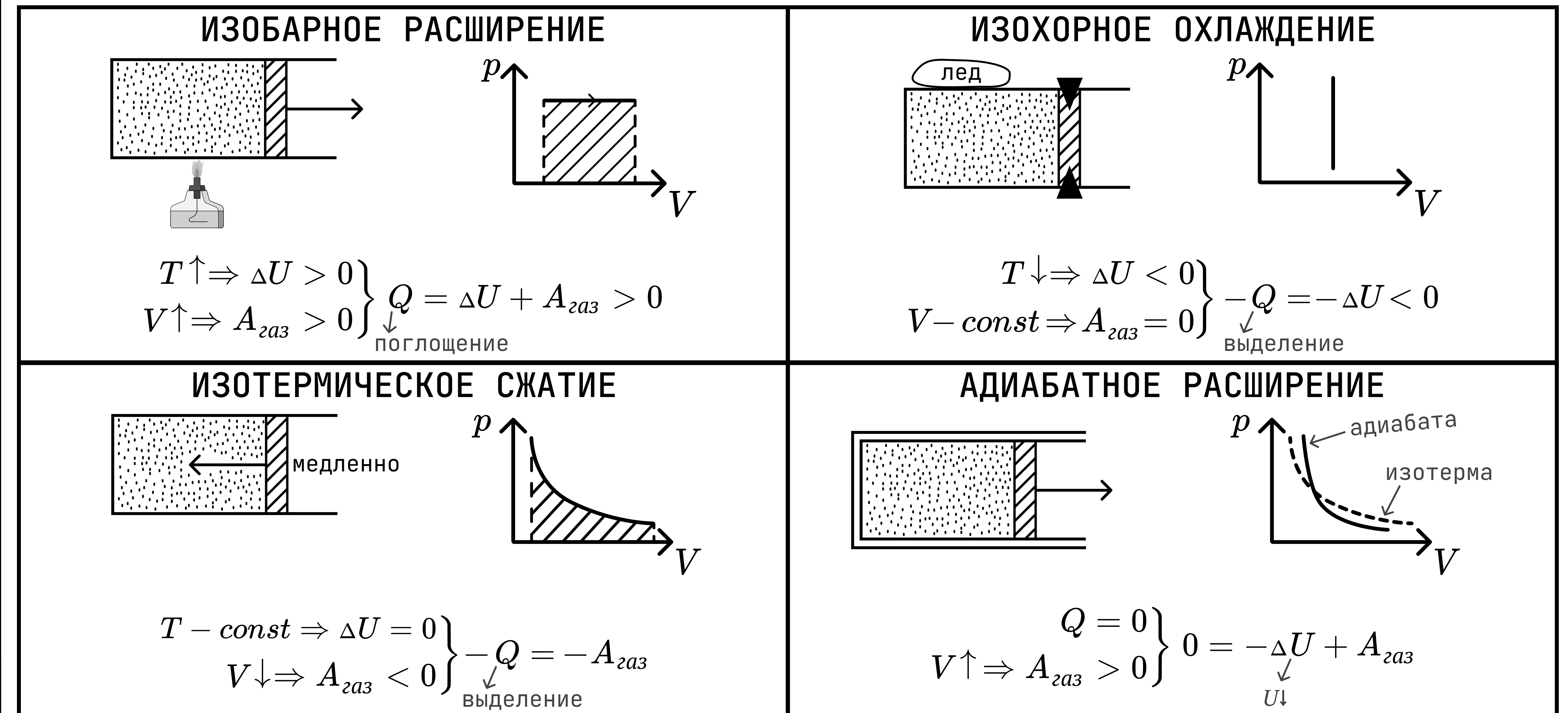
$$Q < 0 \rightarrow \text{при выделении тепла}$$

# I ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

$$\Delta U = Q + A_{\text{внешн}} \text{ или } \Delta U = Q - A_{\text{газ}}$$

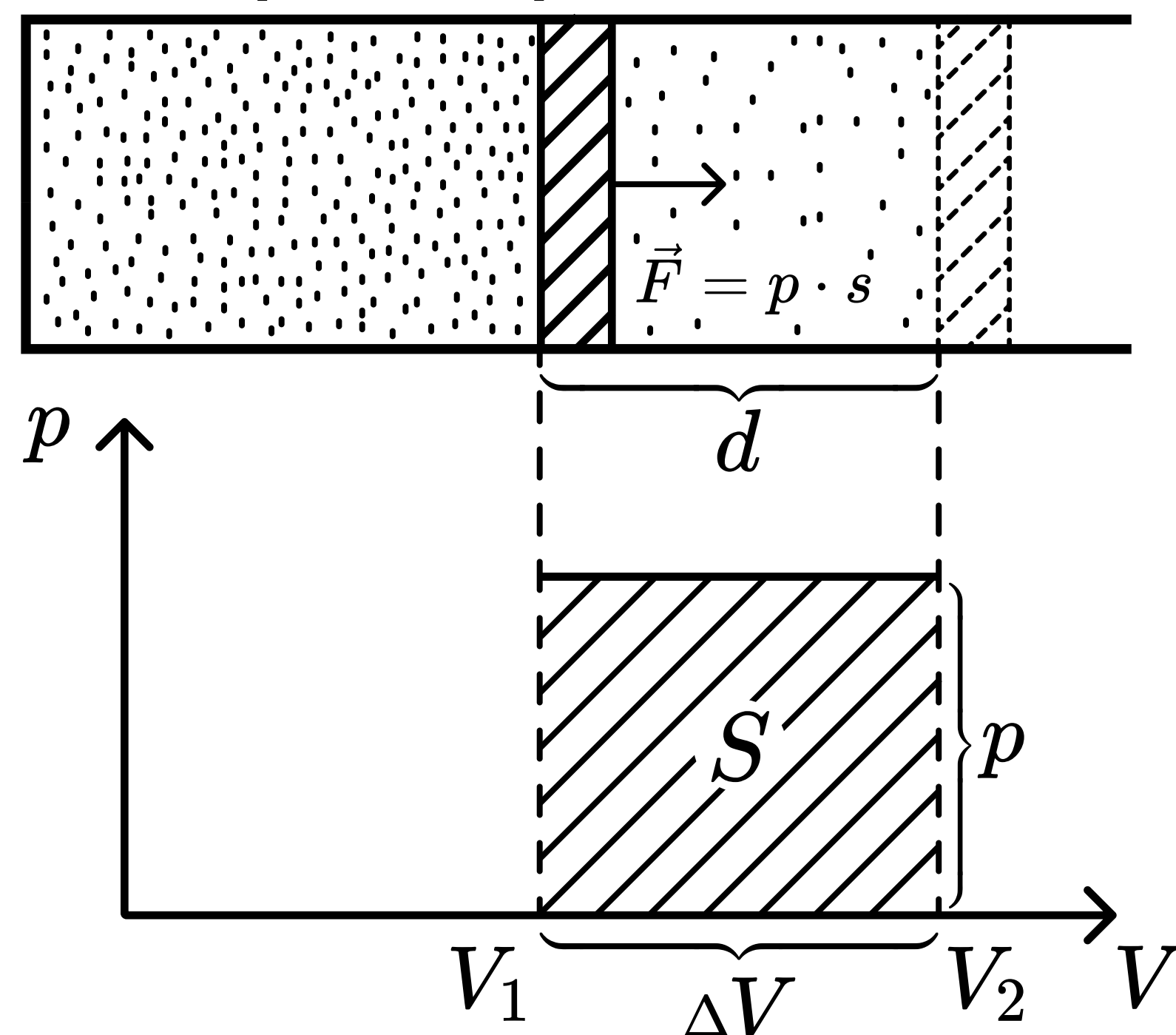
$$Q = \Delta U + A_{\text{газ}}$$

$\Delta U \rightarrow$  изменение внутр. энергии  
 $Q \rightarrow$  количество теплоты, передаваемое системе  
 $A_r \rightarrow$  работа газа



# РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

## ① Изобарный процесс



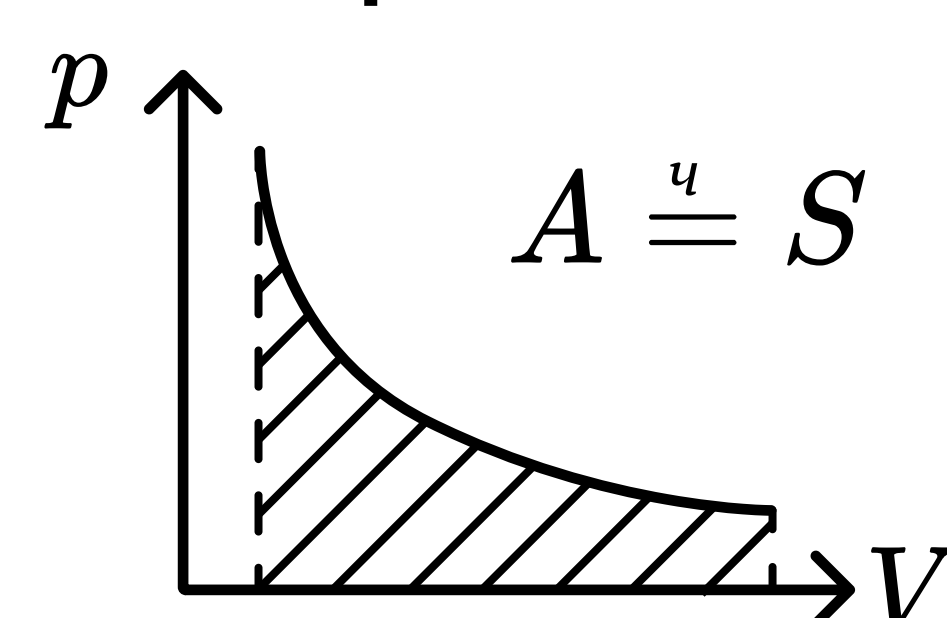
$$A = F \cdot d \cdot \cos(\vec{F}, d) = p \cdot S \cdot d = p \cdot \Delta V$$

$$A = p \cdot \Delta V \quad \begin{matrix} A > 0, \text{ если } V \uparrow \\ A < 0, \text{ если } V \downarrow \end{matrix}$$

частный случай

$$\left. \begin{matrix} A = p \cdot \Delta V \\ S = p \cdot \Delta V \end{matrix} \right\} \Rightarrow A \stackrel{u}{=} S$$

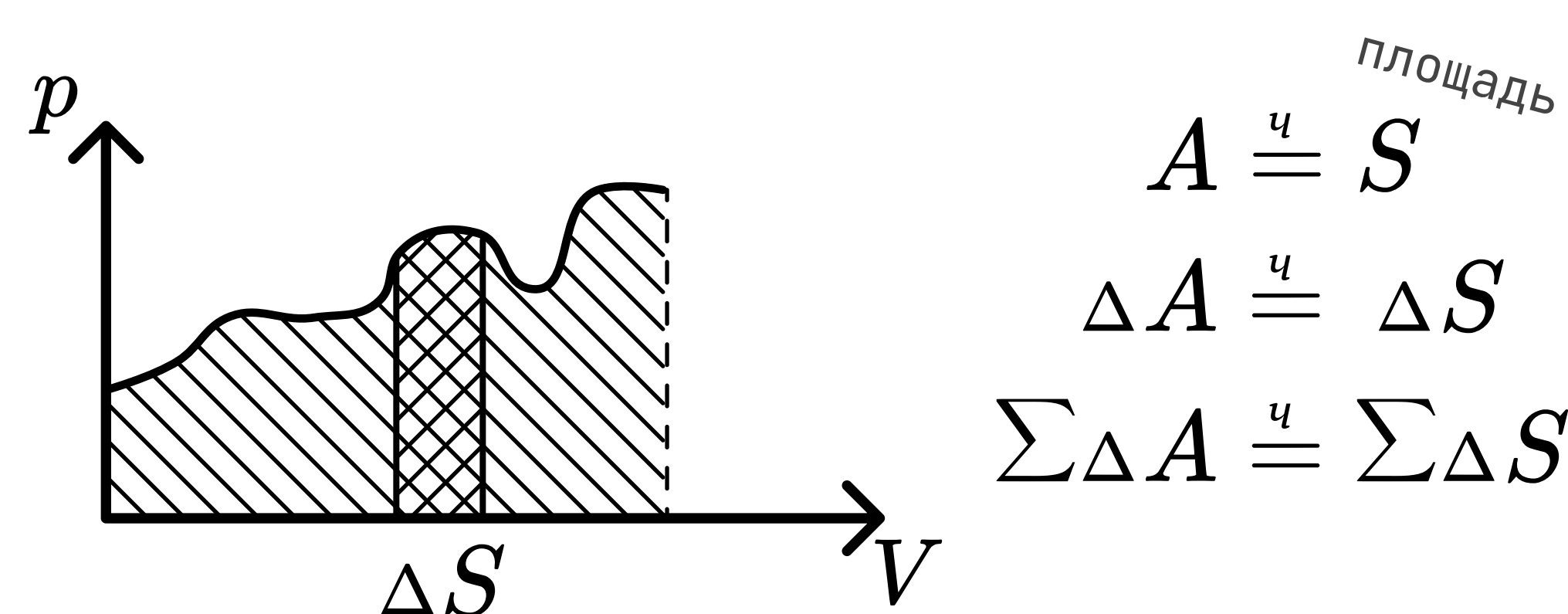
## ② Изотермический процесс



## ③ Изохорный процесс

$$\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$$

## ④ В общем случае

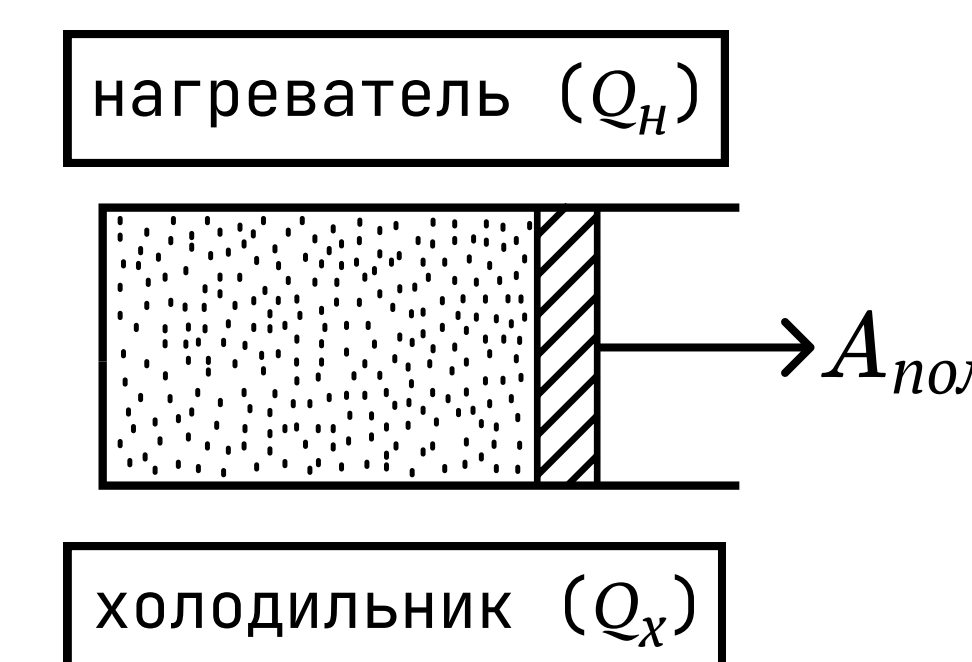


# ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Тепловые двигатели (ТД)  $\rightarrow$  устройства, у которых часть  $U \rightarrow A$

## ① Устройство ТД

- Основные виды: турбинные, поршневые, реактивные
- Используют работу (A) расширения г/п
- Состоят из нагревателя, рабочего тела (г/п) и холодильника



$$Q_n = A_{\text{пол}} + Q_x + Q_{\text{пот}}$$

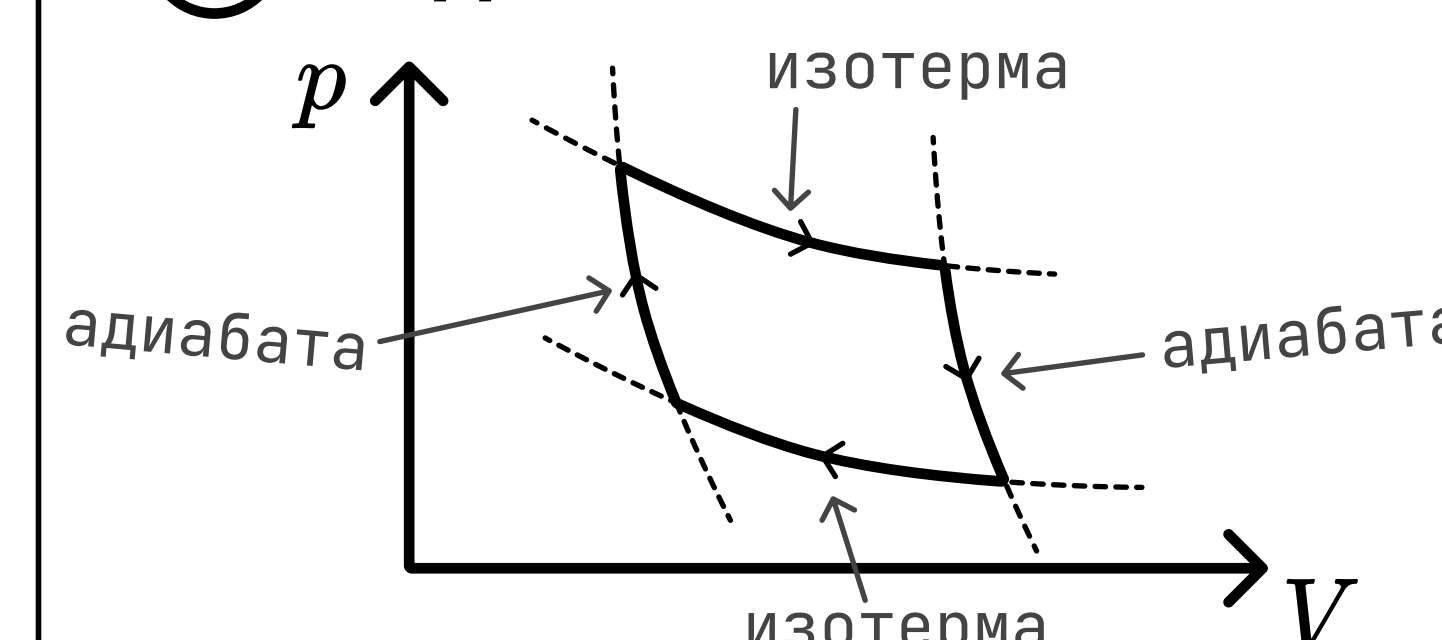
$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_n} = \frac{Q_n - Q_x - Q_{\text{пот}}}{Q_n}$$

## ② Холодильник

Холодильник нужен для цикличности ТД



## ③ Идеальная тепловая машина $\rightarrow$ Сади Карно (фр. - 1824г)



$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} = 1 - \frac{T_x}{T_n} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$$

## примечание

- $U \rightarrow$  внутренняя энергия
- $Q \rightarrow$  количество теплоты
- $C \rightarrow$  удельная теплоемкость на единицу масса
- $q \rightarrow$  удельная теплота сгорания
- $\lambda \rightarrow$  удельная теплота плавления
- $L \rightarrow$  удельная теплота парообразования

## примечание

- г/п  $\rightarrow$  газ или пар
- РТ (Рабочее тело)  $\rightarrow$  г/п
- ТД  $\rightarrow$  Тепловой двигатель
- $Q_x / T_x \rightarrow$  холодильника
- $Q_n / T_n \rightarrow$  нагревателя
- $Q_{\text{пот}} \rightarrow$  потери