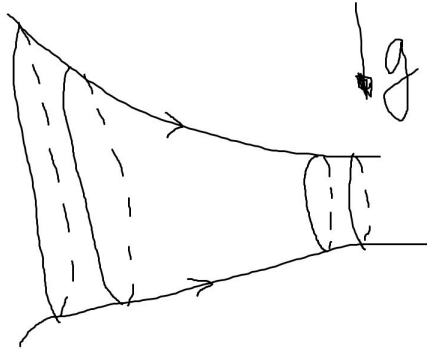


## Лекция 10



$$U_{\text{внутр}} + \frac{p}{\rho} = \text{const} \quad (1)$$

$$U_{\text{внутр}} = U_{\text{T}} + \frac{v^2}{2} + gh \quad (2)$$

Энтропия:

$$I = U_{\text{T}} + pV \quad (3)$$

$$i = \frac{I}{m} = \hat{U}_{\text{T}} + \frac{pV}{m}, \quad \text{где } \frac{pV}{m} = \frac{p}{\rho} \quad (4)$$

Следовательно,

$$i + \frac{v^2}{2} + gh = \text{const} \quad (5)$$

- Дж.-Томсон:  $v \approx 0, \Delta h \approx 0 \Rightarrow i = \text{const}$
- $\Delta U_{\text{T}} \approx 0, \Delta h \approx 0 \Rightarrow \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{const}, v \uparrow \Rightarrow p \downarrow$

Второе начало термодинамики:

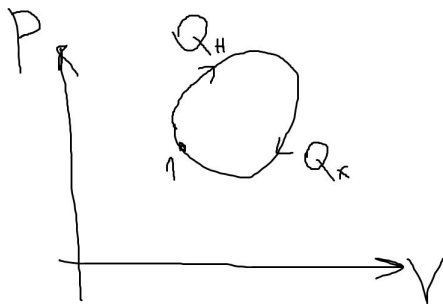
**Клаузиуса:** Невозможна самопроизвольная\* передача тепла\*\* от менее нагретого тела к более нагретому.

\* без изменения в других телах

\*\* независимо от способа теплопередачи

**Томсона (Планка):** Невозможен циклический процесс единственным результатом которого является совершение работы за счет уменьшения тепловой энергии какого-либо тела.

Пример:



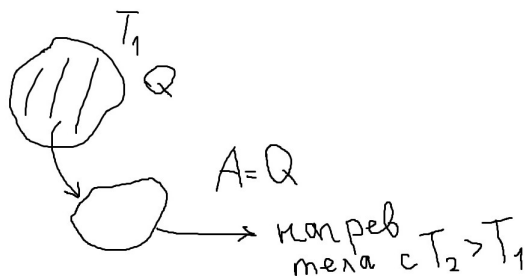
$$\Delta U_0 = 0 \Rightarrow A_0 = Q = Q_H - Q_X \quad (6)$$

$$\eta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \quad (7)$$

Если  $Q_X = 0$ , то  $\eta = 100\%$  ← "вечный двигатель 2го рода"

Доказательство эквивалентности:

1. Клаузиус  $\Rightarrow$  Т. - П. от противного, пусть существует вечный двигатель 2го рода



Итог:  $Q$  от тела с  $T_1$  перешло к телу с  $T_2 > T_1$  противоречие ч.т.д.

2. Т. - П.  $\Rightarrow$  Клаузиус от противного: циклический процесс, в котором тело получает  $Q_H$  от тела с  $T_H$  и отдает  $Q_X$  телу с  $T_X$

Приведем в тепловой контакт холодильник и нагреватель так, чтобы холодильник отдал тепло  $Q_X$

Тогда:

$$\begin{cases} Q_H = Q_H - Q_X \\ Q_X = 0 \\ A = Q_H - Q_X \end{cases} \quad (8)$$

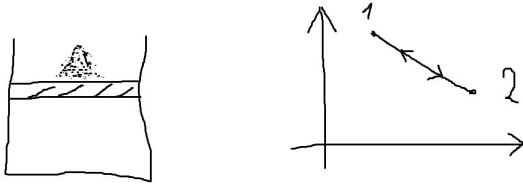
это вечный двигатель второго рода (Perpetuum mobile II) что невозможно ч.т.д.

### Об обратимости ТД процессов

Обратимый процесс - такой процесс, что система может вернуться в исходное состояние А без изменения в других телах.

В узком смысле обратимый процесс - такой процесс, что система может вернуться в исходное состояние А через ту же последовательность состояний.

∀ квазистатический процесс обратим в узком смысле



Необратимые процессы (примеры):

- химическая реакция
- теплопередача
- диффузия
- расширение газа в вакууме

### Цикл Карно и Теорема Карно

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{A}{Q_H} \quad (9)$$

Теорема Карно:  $\eta = \eta(T_H, T_X)$ . КПД Цикла Карно зависит только от  $T_H$  и  $T_X$  и не зависит от природы рабочего тела и устройства тепловой машины.