

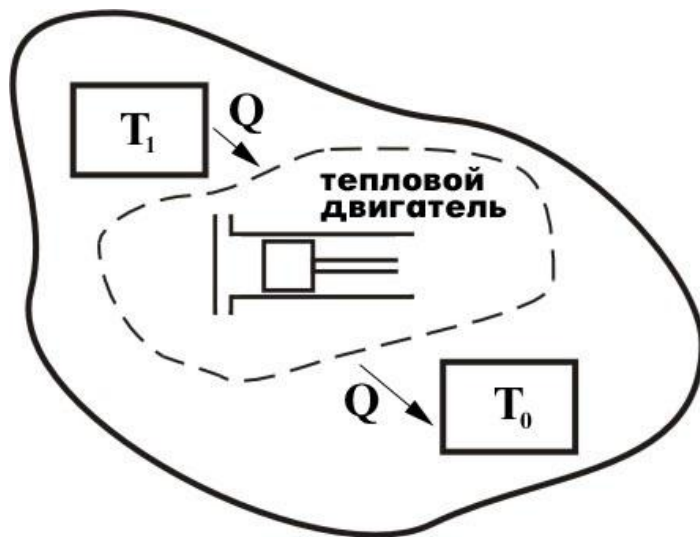
Второй закон термодинамики и работоспособность термодинамических систем

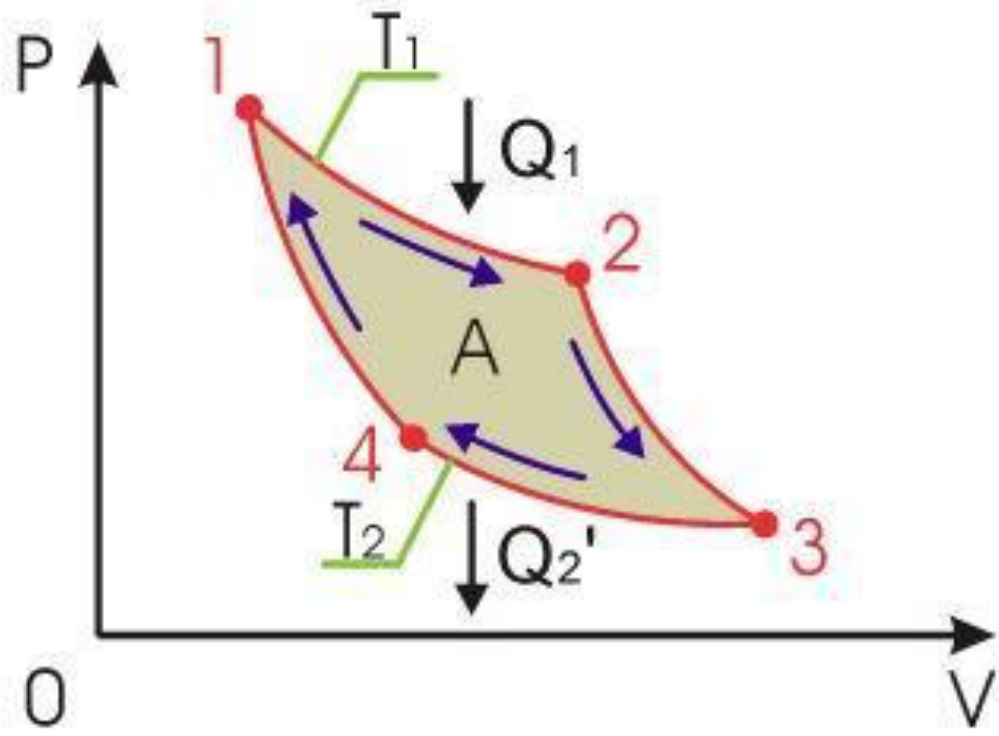
Второй закон термодинамики

Формулировка Р. Клаузиуса: "Теплота не может сама собой переходить от холодного тела к нагретому"

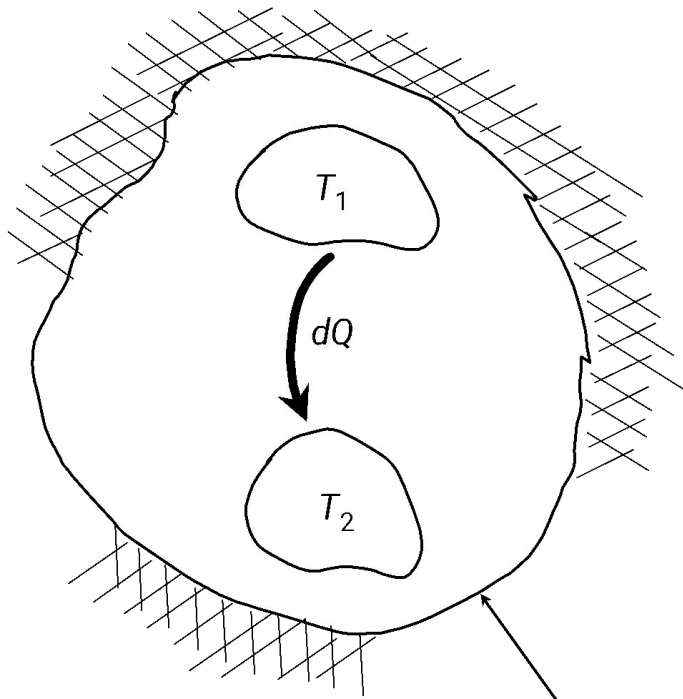
Формулировка В. Освальда: "Невозможно создать вечный двигатель второго рода" .

Для получения работы в периодически действующей тепловой машине необходимо иметь как минимум два тела с разной температурой: источник теплоты – с более высокой и теплоприемник – с более низкой.





$$\eta_{tK} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



Изолированная система

$$dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}; \quad dS_2 = \frac{dQ}{T_2};$$

$$dS_{\Sigma} = dS_1 + dS_2 = -\frac{dQ}{T_1} + \frac{dQ}{T_2} > 0,$$

так как $T_1 > T_2$ и $\frac{1}{T_1} < \frac{1}{T_2}$

Математическое выражение второго закона

- При протекании необратимых процессов в изолированной системе

$$ds > 0$$

- При протекании обратимых процессов в изолированной системе

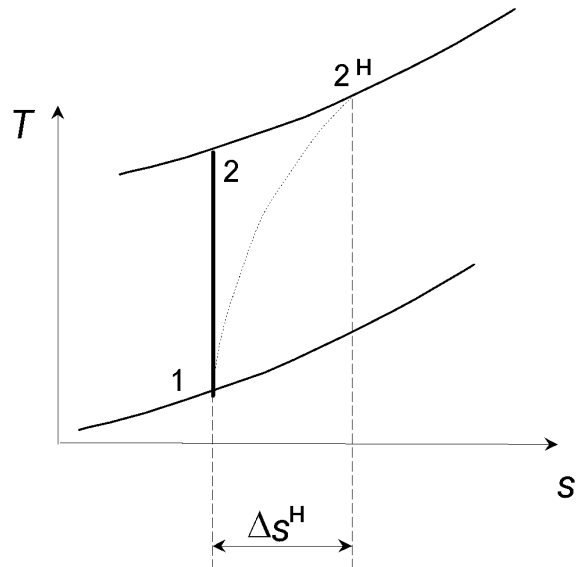
$$ds = 0$$

Для изолированных систем, в общем случае

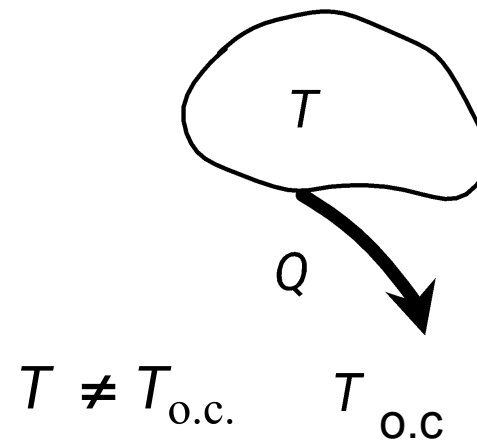
$$ds \geq 0$$

Внутренняя и внешняя необратимость

- Внутренняя необратимость – необратимые процессы протекают внутри термодинамической системы

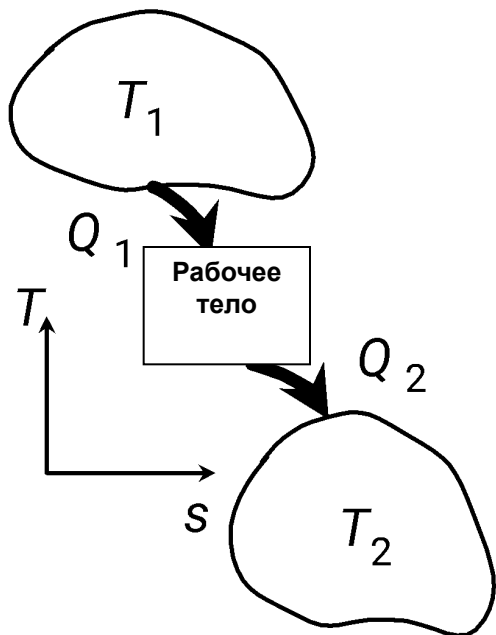


- Внешняя необратимость – необратимыми являются процессы передачи энергии через границы системы



Влияние необратимости на запас работоспособности термодинамических систем

- До теплообмена



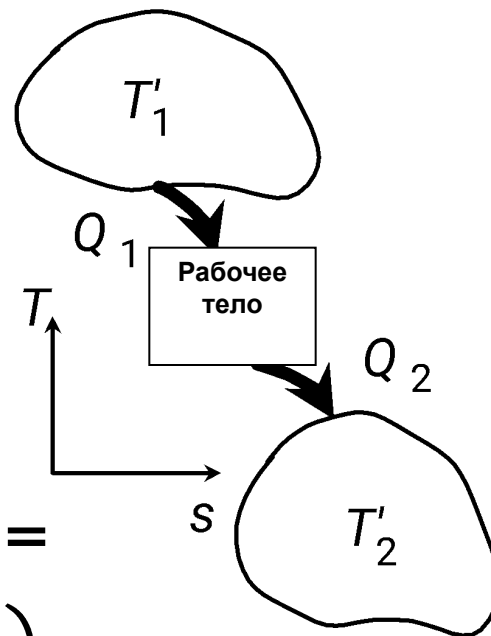
$$L = Q_1 \cdot \eta_{тК} =$$

$$= Q_1 \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right);$$

- После частичного теплообмена

$$T'_1 < T_1;$$

$$T'_2 > T_2;$$



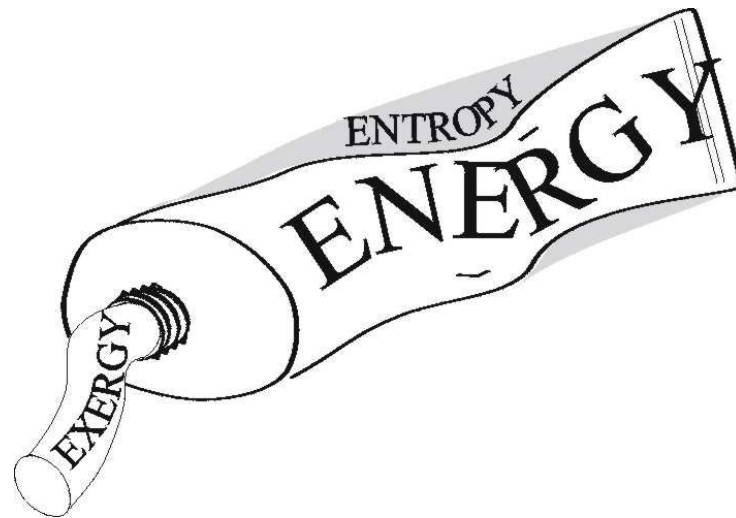
$$L' = Q_1 \cdot \eta'_{тК} =$$

$$= Q_1 \cdot \left(1 - \frac{T'_2}{T'_1}\right);$$

$$L' < L;$$

$$\Delta L < L - L';$$

Максимальная работа. Эксергия



Получение работы в изолированной системе

- В изолированной термодинамической системе возможно получение механической работы при наличии в ней механической (разность давлений) или термической (разность температур) неравновесности или того и другого одновременно
- *В изолированной системе возможно получить работу только в том случае, если она не находится в состоянии термодинамического равновесия. Работоспособность системы исчерпывается при достижении в ней равновесного состояния.*

Получение работы в изолированной системе

- Система может прийти в состояние равновесия и без совершения полезной работы, в результате протекания в ней необратимых процессов
- *Наибольшая возможная работа может быть получена при переходе системы из неравновесного состояния в равновесное, при протекании в ней только обратимых процессов*

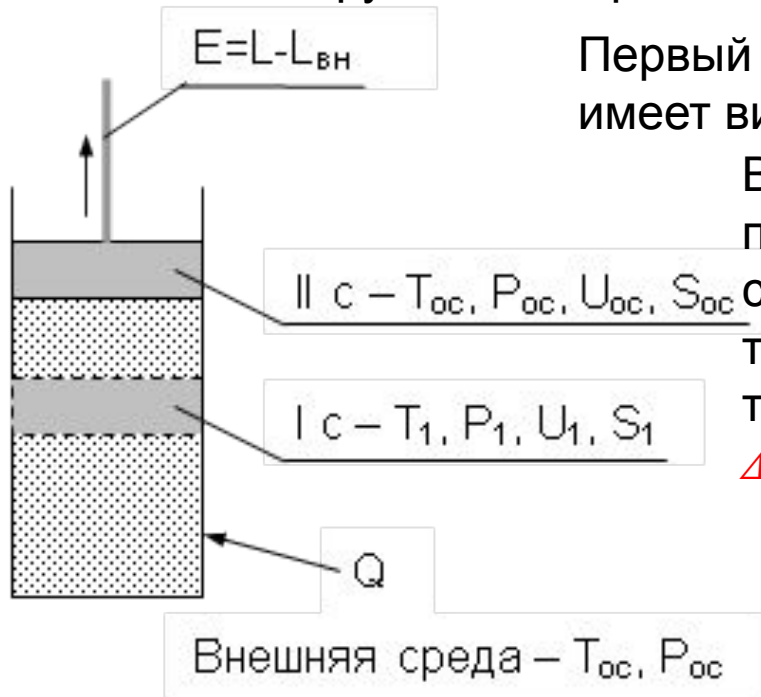
- Для оценки максимально возможного количества полезной работы, которое может быть получено в таких системах, в 1955 г. югославским ученым З. Рантом было введено понятие ***эксергии***

Понятие эксергии

- Эксергия – это максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система в процессе обратимого перехода ее в равновесие с окружающей средой при условии, что окружающая среда является единственным источником теплоты и вещества.
- Эксергия – это та часть энергии, которая при данных условиях в окружающей среде может быть преобразована в работу. Ту часть энергии, которая при заданных условиях окружающей среды в работу преобразована быть не может, называют анергией.
 - Энергия = Эксергия + Анергия

Понятие эксергии

Эксергии будет соответствовать работа на штоке поршня при обратимом переходе тела из первоначального состояния (I с.) в состояние его термодинамического равновесия с окружающей средой (II с.)



Первый закон термодинамики для обратимого процесса имеет вид $Q = U_{oc} - U_1 + L$. $Q = -Q_{oc}$

$$Q = U_{oc} - U_1 + L \quad Q = -Q_{oc}$$

В системе происходят только обратимые процессы, следовательно, в соответствии со вторым законом термодинамики изменение энтропии такой системы равно нулю –

$\Delta S_c = \Delta S_m + \Delta S_{oc} = 0$

$$\Delta S_m = -\Delta S_{oc}$$

$$Q_{oc} = T_{oc} \Delta S_{oc}$$

$$\Delta S_c = \Delta S_m + \Delta S_{oc} = 0$$

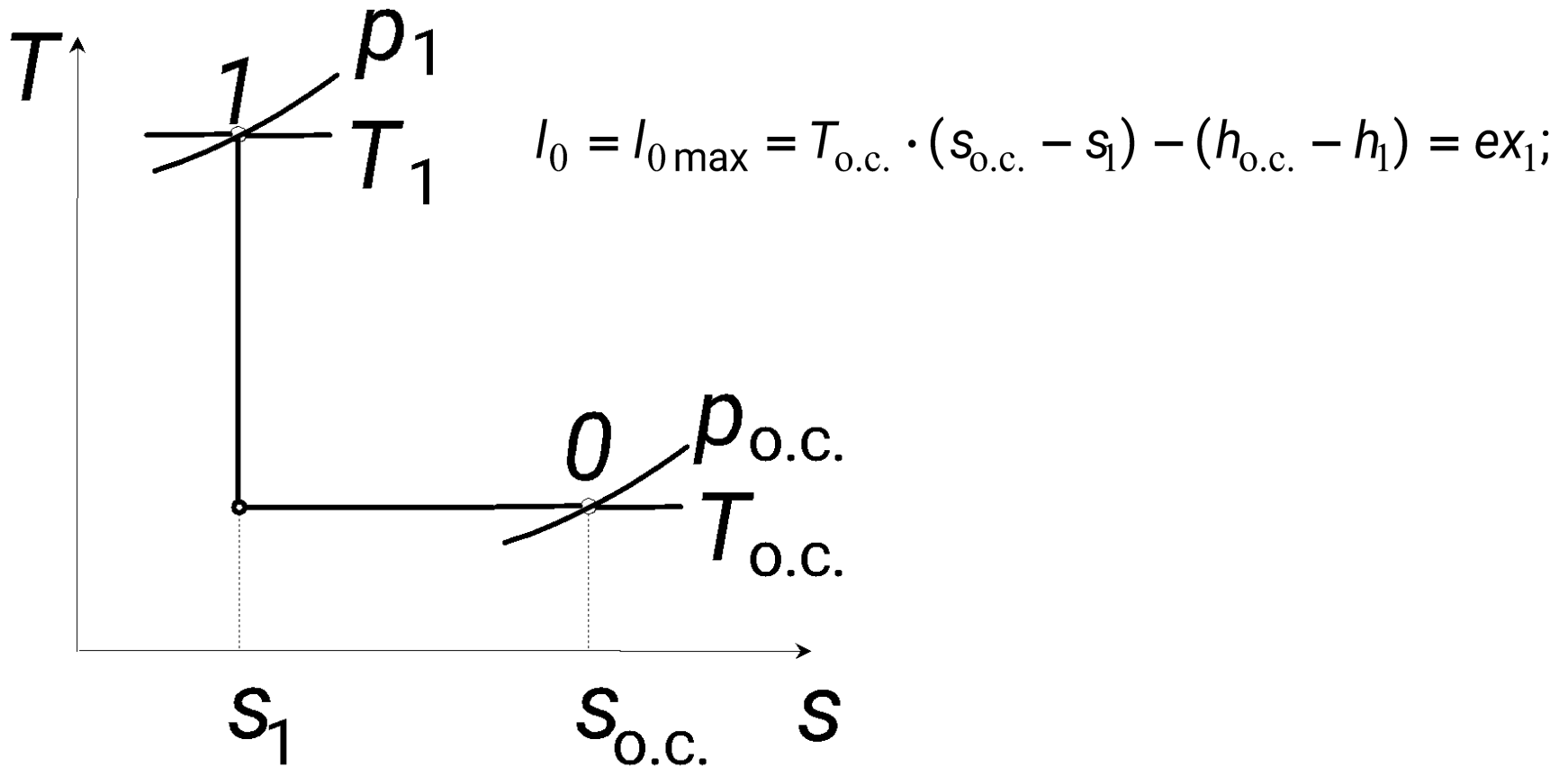
$$Q = -Q_{oc} = -T_{oc} \Delta S_{oc} = T_{oc} \Delta S_m = T_{oc} (S_{oc} - S_1)$$

Часть работы расширения тела L расходуется на перемещение внешней среды $L_{вн} = P_{oc} (V_{oc} - V_1)$

$$L_{max.n} = L - L_{вн} = Q - (U_{oc} - U_1) - L_{вн} = T_{oc} (S_{oc} - S_1) - (U_{oc} - U_1) - P_{oc} (V_{oc} - V_1)$$

$$ex = (u_1 - u_{oc}) - T_{oc} (s_1 - s_{oc}) + P_{oc} (v_1 - v_{oc})$$

Эксергия потока вещества



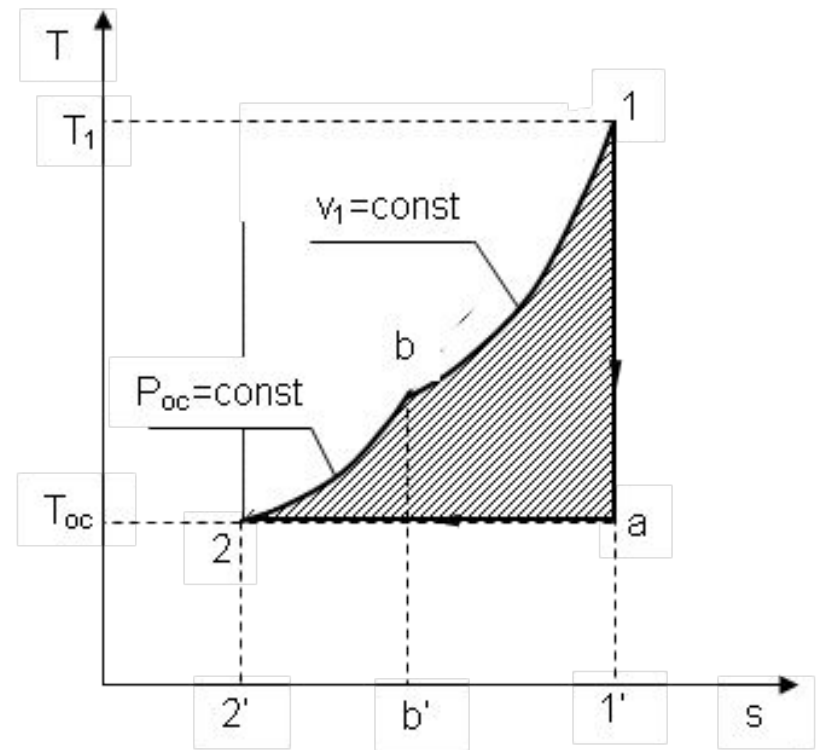
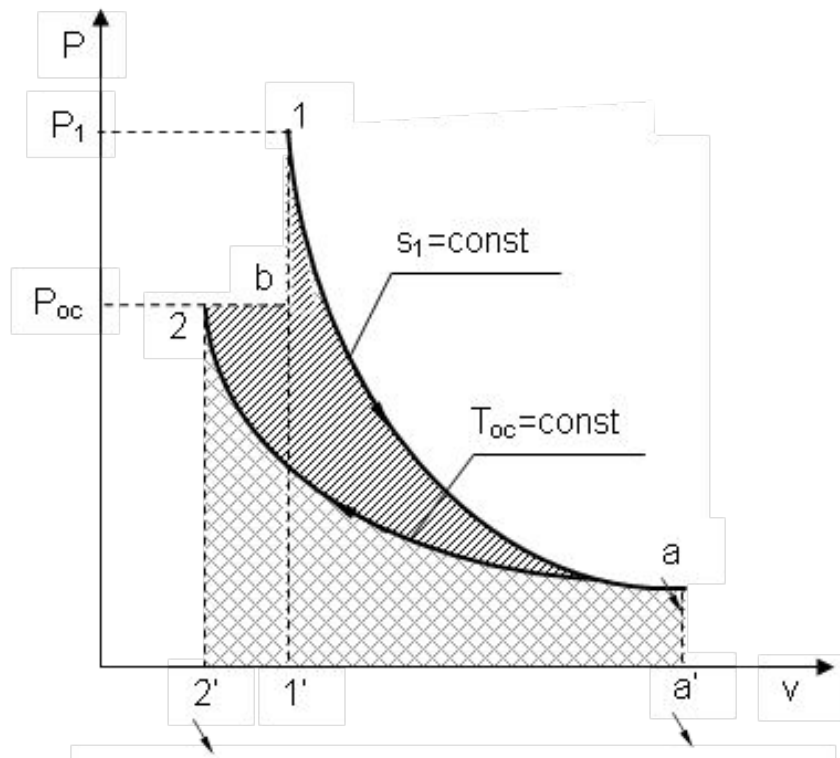
$$Ex = (H - H_{o.c.}) - T_{o.c.} \cdot (S_1 - S_{o.c.});$$

$$ex = (h - h_{o.c.}) - T_{o.c.} \cdot (s_1 - s_{o.c.});$$

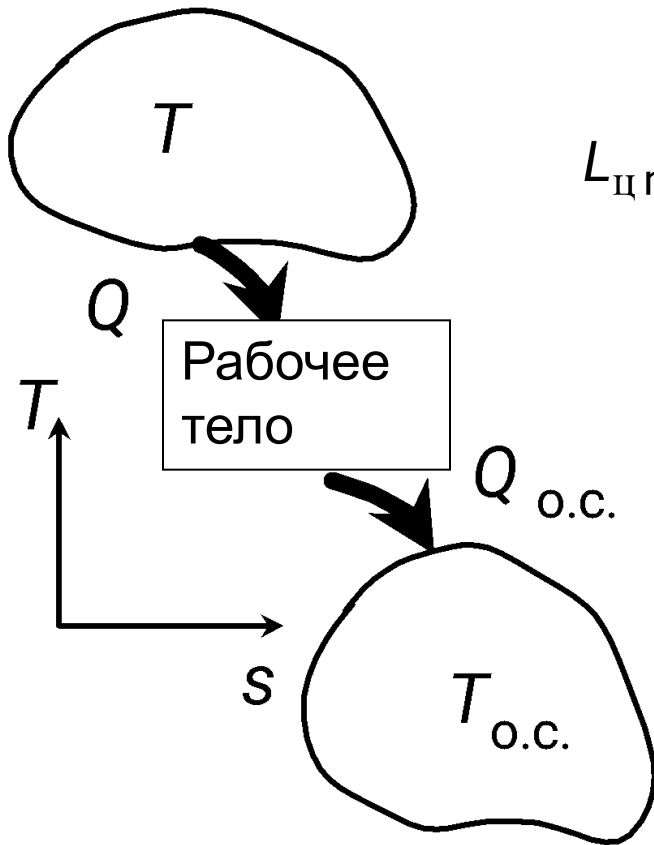
Эксергия на диаграммах

Эксергия идеального газа, имеющего параметры P_P, T_P, v_P, u_P, s_P , представлена в виде

площади **1a2b1**



Эксергия теплоты



$$L_{\text{ц max}} = Ex_q = Q \cdot \eta_{\text{тк}} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{о.с.}}}{T}\right)$$

$$Ex_q = Q \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{о.с.}}}{T}\right)$$

Если теплота отбирается у
холодного тела, то

$$Ex_q = Q \cdot \left(\frac{T_{\text{о.с.}}}{T} - 1\right)$$