ELTE I.BSC Fizikus
2012/2013 II.félév

TERMODINAMIKA GYAKORLAT 8.
Az entrópia (S) és a II.főtétel, irreverzibilitás

A redukált hő. Carnot körfolyamat hatásfoka, hatásfok maximum. T-S diagram.

1. Redukált hő: $\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T}$; $dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$

   A hőmérséklet integrál osztó!

   Reverzibilis hőközlés csak izoterm lehet! (Claussius, II. főtétel)

$$\Delta S > \frac{Q_{irrev.}}{T} \; ; \; dS > \frac{\delta Q_{irrev}}{T}$$

2. II. főtétel, fundamentális egyenlet:

$$dU = TdS - pdV \; ; \; dU = \delta Q + \delta W$$

$$TdS = \delta Q_{kv.sztat} \; ; \; -pdV = \delta W_{kv.sztat}$$

A kvázisztatikus folyamatok reverzibilissé tehetők

(csak sok hőtartály kell hozzá)!

$$dU = TdS - pdV$$

a) Kvázisztatikus (reverzibilis) folyamatokra:
b) Nem reverzibilis folyamatokra (ugrásra):
   A kezdő- és végállapotok közötti összefüggés!

$$TdS = dU + pdV$$

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{p}{T} dV$$

Ne feledjük:

$$dS(T,V) = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV$$

$$S(T,V) = \int \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \int \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV$$

Amennyiben a gáz ideális:

p V=n R T , és U=n C_v T, akkor

$$dU = nC_V \, dT \quad \text{és} \quad \frac{p}{T} = \frac{nR}{V}$$

$$dS(T,V) = n\left(\frac{C_V}{T} dT + \frac{R}{V} dV\right)$$

$$S(T,V) = n\left(\int \frac{C_V}{T} dT + \int \frac{R}{V} dV\right)$$

$$S(T,V) = n\left(C_V \ln T + R \ln V\right) + \acute{a}lland\acute{o}$$

3. Carnot körfolyamat (reverzibilis): $\eta^{Carnot} = 1 - \dfrac{T_1}{T_2}$

Ideális gázra:

I. ***Izoterm*** tágítás ***(T_2 -hőmérsékleten,*** ***$V_1 \rightarrow V_2$ -re)***

$\boldsymbol{Q_I = nR\, T_2 \ln(V_2 / V_1) = -W_I}$ ***($\Delta E = 0$,*** ***$Q_I > 0$, $W_I < 0$)***

II. Adiabatikus tágítás ***($T_2 \rightarrow T_1$ -re,*** ***$V_2 \rightarrow V_3$ -ra)***

$\boldsymbol{Q = 0, \quad W_{II} = nC_v\,(T_1 - T_2)}$ ***($\Delta E = W_{II}$,*** ***$Q = 0$, $W_{II} < 0$)***

III. Izoterm összenyomás ***(T_1 - hőmérsékleten,*** ***$V_3 \rightarrow V_4$ -re)***

$\boldsymbol{Q_{III} = nR\, T_1 \ln(V_4 / V_3) = -W_{III}}$ ***($\Delta E = 0$,*** ***$Q_{III} < 0$, $W_{III} > 0$)***

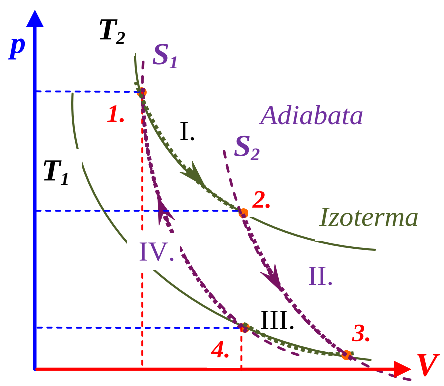
IV. Adiabatikus összenyomás ***($T_1 \rightarrow T_2$ -re,*** ***$V_4 \rightarrow V_1$ -re)***

$\boldsymbol{Q = 0, \quad W_{IV} = n\, C_v\,(T_2 - T_1)}$ ***($\Delta E = W_{IV}$,*** ***$Q = 0$, $W_{IV} > 0$)***

Ahol $\boldsymbol{Q_I = Q_{fel}}$ és $\boldsymbol{-Q_{III} = Q_{le}}$. Az adiabatákból:

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_1 V_3^{\gamma-1} \ \textit{és}\ T_1 V_4^{\gamma-1} = T_2 V_1^{\gamma-1} \text{ azaz } T_2 / T_1 = \left(V_3 / V_2 \right)^{\gamma-1} \ \textit{és}\ T_2 / T_1 = \left(V_4 / V_1 \right)^{\gamma-1},$$

$$\text{tehát } \left(V_3 / V_2 \right) = \left(V_4 / V_1 \right) \text{ avagy } \left(V_1 / V_2 \right) = \left(V_4 / V_3 \right).$$



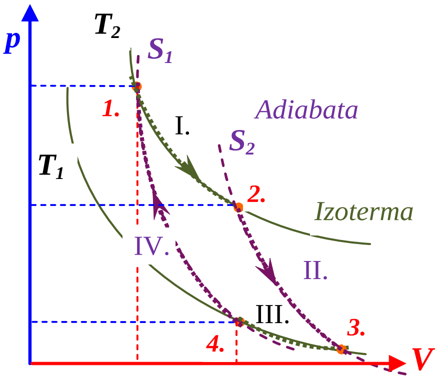
Carnot körfolyamat

A két izotermából (T_2, T_1) (I.-III.) és két adiabatából (S_2 - S_1) (II-IV.), álló körfolyamat. Hatásfoka:

$$\eta = \frac{W_{körf.}}{Q_{fel}} = 1 - \frac{Q_{le}}{Q_{fel}} = 1 - \frac{-nRT_1 \ln(V_4 / V_3)}{nRT_2 \ln(V_2 / V_1)} = 1 - T_1 / T_2$$

A ***Carnot gép*** a $\boldsymbol{T_{min} = T_1}$ és a $\boldsymbol{T_{max} = T_2}$ hőmérséklet tartományban működő kör-folyamatok között ***maximális hatásfokú!***

4. A Carnot körfolyamat (reverzibilis):



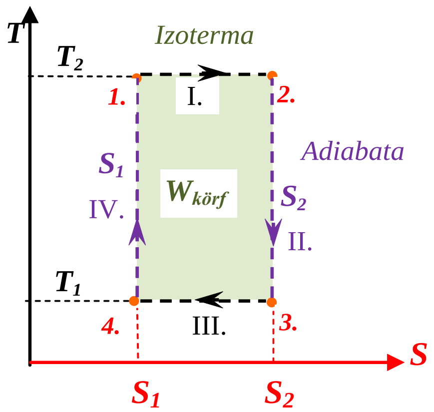
Carnot körfolyamat

$$\Delta S_{fel} = \frac{Q_{fel}}{T_2} \text{ és } \Delta S_{le} = \frac{Q_{le}}{T_1}, \text{ valamint}$$

$$\Delta S_{fel} + \Delta S_{le} = 0 \text{ (reverzibilis)}$$

$$\Delta S_{fel} = S_2 - S_1 ; \Delta S_{le} = S_1 - S_2$$

T-S diagramm



Carnot körfolyamat

$$W_{k\ddot{o}rf.} = Q_{k\ddot{o}rf.}; \quad W_{k\ddot{o}rf.} = -\oint p dV \quad Q_{k\ddot{o}rf.} = \oint T dS$$