

# ELTE I.BSC Fizikus

2012/2013 II.félév

## TERMODINAMIKA GYAKORLAT 9.

### Az entrópia (S) és a II.főtétel, irreverzibilitás II.

Reverzibilis folyamatok entrópia változásai

Irreverzibilis folyamatok entrópiája. Keveredési entrópia.

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

2. Fundamentális egyenlet:

$$dU = TdS - pdV$$

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

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

$$dS = \frac{1}{T} \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{1}{T} \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + \frac{p}{T} \right) dV$$

$$dS = \frac{dT}{T} nC_V + \left( \frac{1}{T} \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + \frac{p}{T} \right) dV$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{p}{T} dV = \frac{1}{T} d(H - pV) + \frac{p}{T} dV = \frac{1}{T} dH - \frac{V}{T} dp$$

$$dS = \frac{dT}{T} nC_p + \left( \frac{1}{T} \left( \frac{\partial H}{\partial p} \right)_T - \frac{V}{T} \right) dp$$

3. Reverzibilis folyamatok entrópia változásai (ideális gázzal):

A. Izochor folyamat:  $dS = nC_V \frac{dT}{T}$ ;  $\Delta S = nC_V \int \frac{dT}{T}$

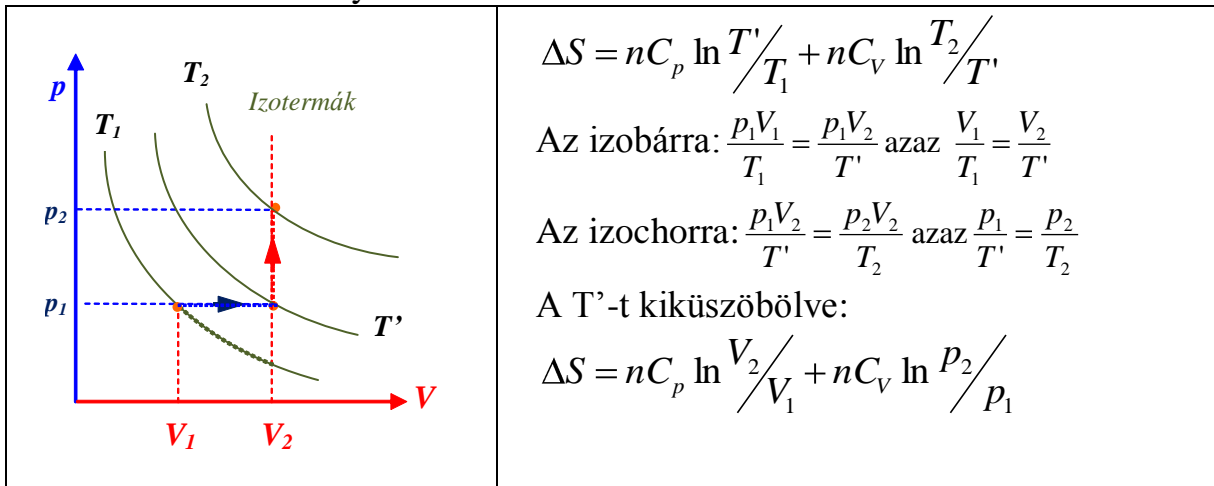
$$\Delta S = S_2 - S_1 = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1}$$

B. Izobár folyamat:  $dS = nC_p \frac{dT}{T}$ ;  $\Delta S = nC_p \int \frac{dT}{T}$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

C. Izoterm folyamat:  $dS = \frac{dQ}{T}$ ;  $\delta Q = -\delta W$ ;  $\Delta S = \int \frac{pdV}{T} = \int \frac{nRTdV}{VT} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$

C. Izochor + izobár folyamat:



$$\Delta S = nC_p \ln \frac{T'}{T_1} + nC_v \ln \frac{T_2}{T'}$$

Az izobárra:  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_1 V_2}{T'}$  azaz  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T'}$

Az izochorra:  $\frac{p_1 V_2}{T'} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$  azaz  $\frac{p_1}{T'} = \frac{p_2}{T_2}$

A T'-t kiküszöbölve:

$$\Delta S = nC_p \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_v \ln \frac{p_2}{p_1}$$

α) Adibatánál ( $\Delta S = 0$ ):  $0 = \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{C_p} + \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{C_v}$  ;  $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma = \text{állandó}$

ahol  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  !

β) Izotermánál (T állandó):  $\Delta S = nC_p \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_v \ln \frac{p_2}{p_1}$  és  $\frac{p_1 V_1}{T} = \frac{p_2 V_2}{T}$

$$\Delta S = nC_p \ln \frac{V_2}{V_1} + nC_v \ln \frac{V_1}{V_2} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

D. Izochor + izoterm folyamat:

$$dS(T, V) = dS^{\text{izochor}}(T, V) + dS^{\text{izoterm}}(T, V) =$$

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

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

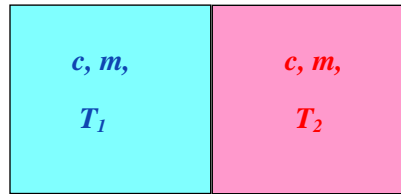
$$S(T, V) = n \left( C_v \ln T + R \ln V \right) \text{ } \} \text{ állandó}$$

4.) Keveredés folyadékok /irreverzibilis ( $\Delta S > 0$ )/

a)  $T_1 \neq T_2$  ! A tömeg és a fajhő ugyan az.

$$Q_{\text{fel}} = Q_{\text{le}} > 0$$

**Keveredés  
folyadékok**



$$\Delta S = cm \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_1 T_2}$$

$$\Delta S = \int dS = \int \frac{dQ}{T} = \int_{T_{\text{kezd}}}^{T_{\text{vég}}} \frac{cmdT}{T} = cm \ln \frac{T_{\text{vég}}}{T_{\text{kezd}}}$$

$$\Delta S_1 = cm \ln \frac{T_{\text{közös}}}{T_1}; \quad \Delta S_2 = cm \ln \frac{T_{\text{közös}}}{T_2}$$

$$Q_{\text{fel}} = c m \Delta T_1 = Q_{\text{le}} = c m \Delta T_2$$

$$T_{\text{közös}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 2cm \ln \left( \frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}} \right)$$

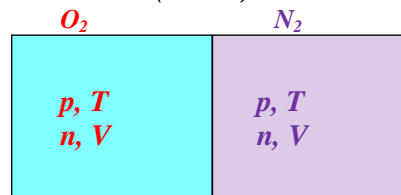
Az **együttes entrópia nő**, azonban az egyik folyadék – a 2-es, a magasabb hőmérsékletű- **entrópiája csökken!!!**

5.) Keveredés gázok /irreverzibilis ( $\Delta S > 0$ )/

b)  $T_1 = T_2 = T$

$$Q_{\text{fel}} = Q_{\text{le}} = 0$$

**Gázok keveredése  
(Gibbs)**



$$\Delta S = nR \ln 2$$

$$S(T, V) = n C_v \ln T + R \ln V \quad \text{állandó}$$

$$\Delta S_1 = n C_v \ln T + R \ln 2V - C_v \ln T - R \ln V$$

$$\Delta S_2 = n C_v \ln T + R \ln 2V - C_v \ln T - R \ln V$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 2nR \ln 2V / V$$

Még **azonos** hőmérséklet és nyomás esetén is lehet entrópia növekedés !!!