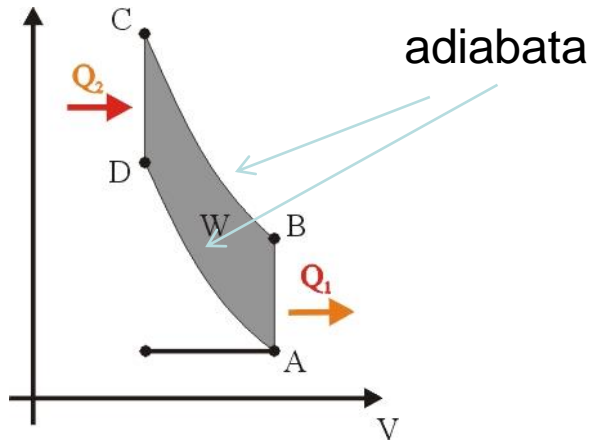


Fizika 1i

Hötan 3

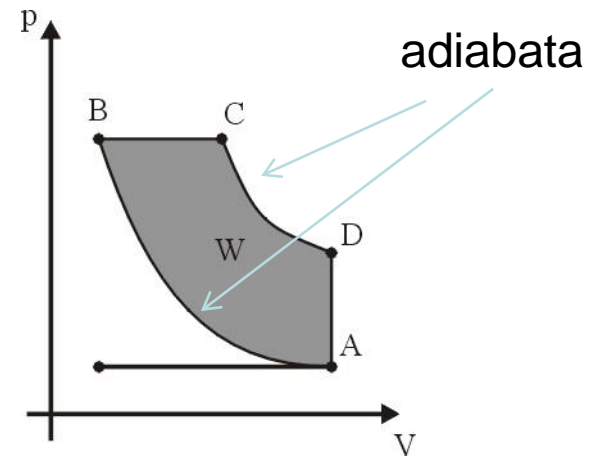
Hőerőgépek

Otto körfolyamat



A-B: sűrités (V_A/V_B : kompresszió viszony)
B-C: robbanás
C-D: munkaütem

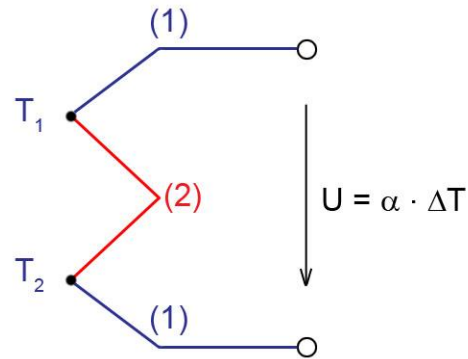
Diesel körfolyamat



B: befecskendezett olaj meggyullad
B-C-D: égés
magasabb kompresszió viszony

$$\frac{\text{hasznos munka}}{\text{befektetett hő}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\kappa-1}}$$

Peltier effektus

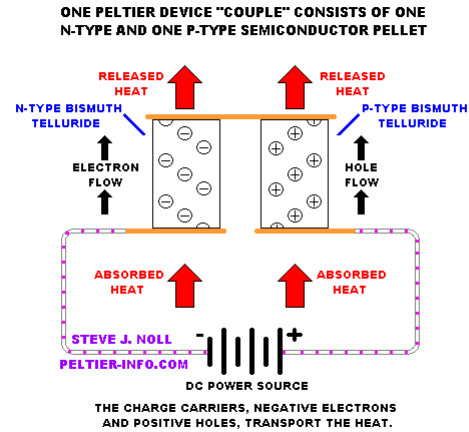


Seebeck effektus

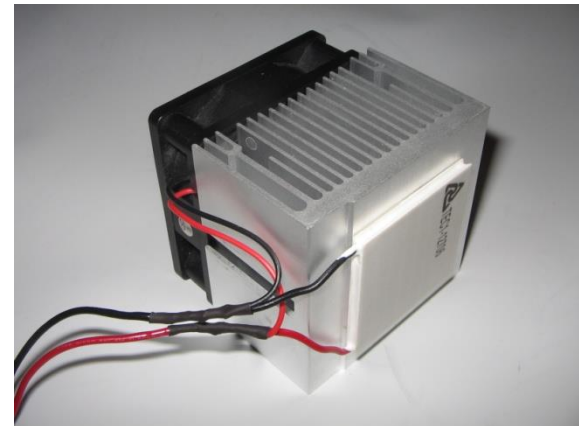
$$U = \alpha \Delta T$$



hőmérséklet mérés



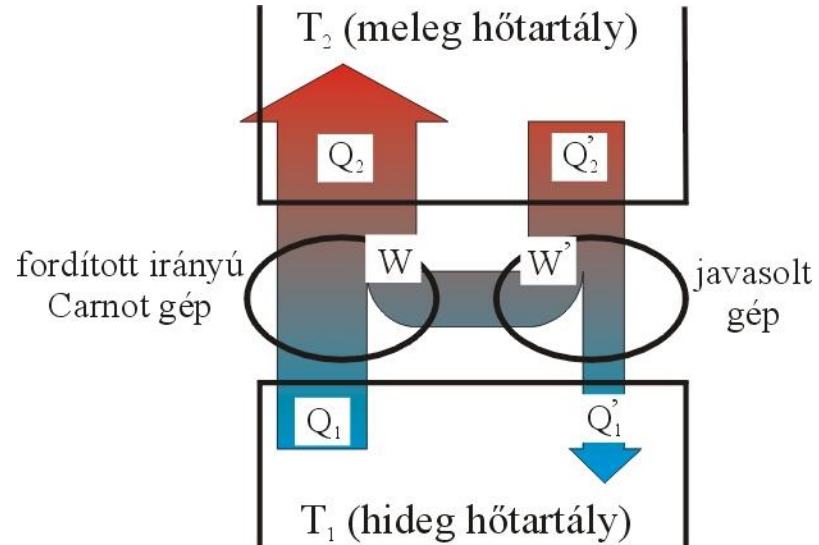
$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha \Delta T I = \Pi_{AB} I = (\Pi_B - \Pi_A) I$$



Az elérhető legnagyobb hatásfok

feltételezés:

$$\left(\frac{W'}{Q_2'}\right)_{\text{javasolt}} > \left(\frac{W}{Q_2}\right)_{\text{Carnot}}$$



Mivel $W'=W$ ezért $Q_1 > Q_1'$

Az I. főtételből:

$$W = Q_2 - Q_1 \quad \text{és} \quad W' = Q_2' - Q_1'$$

$$Q_1 > Q_1'$$

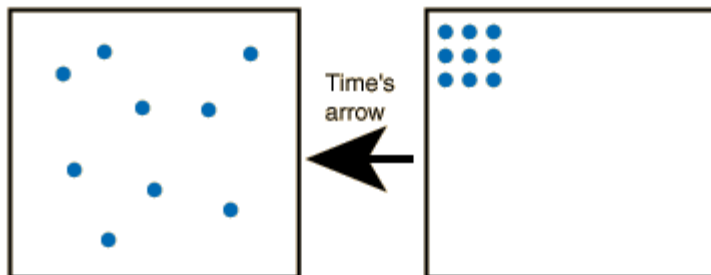
Az entrópia

I. főtétele: energiamegmaradás tétele. Nem mond semmit a folyamatok irányáról.

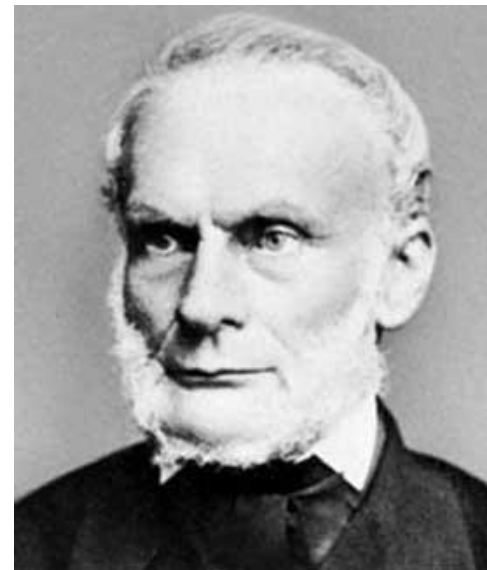
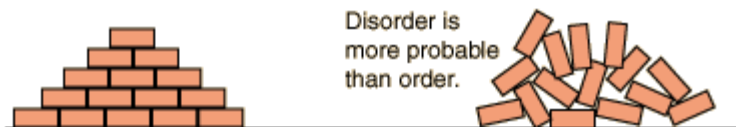
II. főtétele: természetben lejátszódó folyamatok irányára ad felvilágosítást.



If the particles represent gas molecules at normal temperatures inside a closed container, which of the illustrated configurations came first?



If you tossed bricks off a truck, which kind of pile of bricks would you more likely produce?



Clausius

Hő önként nem megy az alacsonyabb hőmérsékletű testről a magasabb hőmérsékletű testre.

A természeti folyamatokra jellemző az energia szétszóródása.

Rendezett \longrightarrow Rendezetlen

Definiálunk egy függvényt, amely számszerűen kifejezi a rendezetlenség mértékét.

Entrópiának fogjuk nevezni: **S**

Legfontosabb jellemzője: Önként végbemenő folyamatokban (elszigetelt rendszerben) mindig nő.

$$dU = \delta W + \delta Q$$

Érvényes reverzibilis és irreverzibilis folyamatokra is.

$$\text{Reverzibilis folyamatokra: } dU = \delta W_{\text{rev}} + \delta Q_{\text{rev}}$$

$$\text{Térfogati munka: } \delta W_{\text{rev}} = -p \cdot dV$$

↑ ↓
intenzív extenzív

$$\text{hasonlóan: } \delta Q_{\text{rev}} = T \cdot dS$$

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

$$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T} \quad \text{J/K}$$

Az entrópia-változás számítása

$$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

Izobár melegítés, hűtés: $\delta Q_{rev} = nC_p dT$

$$\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

melegítéskor nő,
hűtéskor csökken

Izochor melegítés, hűtés: $\delta Q_{rev} = nC_v dT$

$$\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_v}{T} dT = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

melegítéskor nő,
hűtéskor csökken

Izoterm folyamat:
$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_A^B \delta Q_{rev} = \frac{Q_{rev}}{T}$$

Tökéletes gáz izoterm reverzibilis

változása

$$\Delta U = 0, \quad Q = -W, \quad W = nRT \ln \frac{p_2}{p_1} \quad Q = -nRT \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta S = -nR \ln \frac{p_2}{p_1} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

kiterjedéskor nő
összenyomáskor csökken

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

Állapotváltozások (izoterm-izobár folyamatok)

$$\Delta S_{olv} = \frac{\Delta H_{olv}}{T_{olv}} \quad \Delta S_{pár} = \frac{\Delta H_{pár}}{T_{pár}}$$

olvadáskor, párolgáskor nő
fagyáskor, lecsapódáskor csökken

S változása zárt rendszerben

S nő

melegítés

olvadás

párolgás

kiterjedés

(elegyedés)

(oldódás)

RENDEZETLENSÉG

NŐ

S csökken

hűtés

fagyás

kondenzálás

összenyomás

(szételegyedés)

(kicsapódás)

RENDEZETLENSÉG

CSÖKKEN

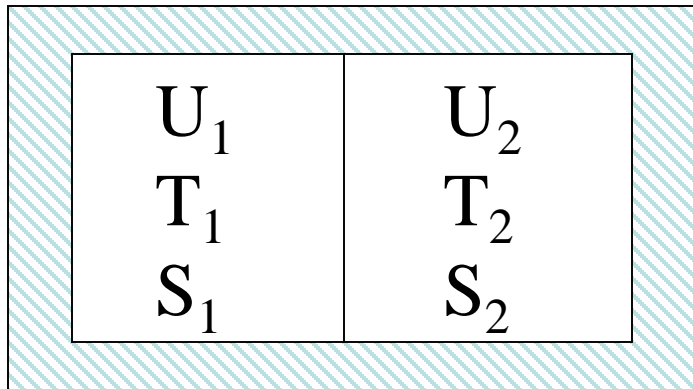
Entrópia – irreverzibilis folyamatok

Irreverzibilis folyamatokban hogyan változik az entrópia?

$$dU = -pdV + TdS$$

1. Két különböző hőmérsékletű test (pl. fém) érintkezik. Hő megy át a magasabb hőmérsékletű testről az alacsonyabb hőmérsékletűre.
2. Két test (gáz) hőmérséklete azonos, de nyomása különbözik. Nyomás-kiegyenlítési folyamat indul el.

1.



← szigetelés

A két test termikus kölcsönhatásban van egymással, de együtt elszigetelt rendszert alkotnak.

Hanyagoljuk el a térfogatváltozást: $dV_1 = dV_2 = 0$

I. főtétele: $dU = dU_1 + dU_2 = 0 \quad \blacktriangle \quad dU_2 = -dU_1$

$dU_1 = T_1 dS_1 \quad dU_2 = T_2 dS_2$

A teljes entrópia-változás:

$$dS = dS_1 + dS_2 = \frac{dU_1}{T_1} + \frac{dU_2}{T_2} = \frac{dU_1}{T_1} - \frac{dU_1}{T_2} = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \cdot dU_1$$

$$dS = \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \cdot dU_1$$

$$dS = \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \cdot dU_1$$

A tapasztalat szerint hő önként csak a melegebb testről megy a hidegebbre.

a) Ha a 2-es test melegebb:

$$T_2 - T_1 > 0$$

$$dU_1 > 0 \quad (\text{mert az 1-es test veszi fel a hőt})$$

$$dS > 0$$

b) Ha az 1-es test melegebb:

$$T_2 - T_1 < 0$$

$$dU_1 < 0 \quad (\text{mert az 1-es test adja le a hőt})$$

$$dS > 0$$

Mindkét esetben:

$$dS > 0$$

A II. főtétel:

$$\Delta S \geq 0$$

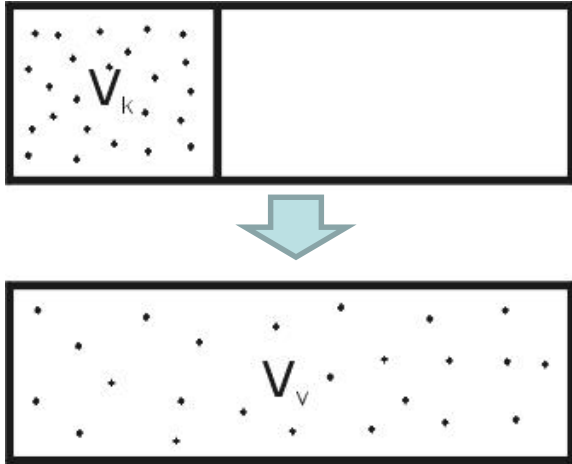
(elszigetelt rendszerben)

Ha a rendszer nem elszigetelt, akkor a rendszer és a környezet együttes entrópiájára érvényes:

$$\Delta S_{\text{rendszer}} + \Delta S_{\text{környezet}} \geq 0$$

Makroszkópikus folyamatok mindig az entrópia növekedésével járnak együtt.

Entrópia – mikroszkópikus szempontból



egy molekulára: $W_k = \frac{V_k}{V}$

N molekulára: $W_k = \left(\frac{V_k}{V}\right)^N$

más térfogatra: $W_n = \left(\frac{V_n}{V}\right)^N$

$$\frac{W_v}{W_k} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)^N}{\left(\frac{V_k}{V}\right)^N} = \left(\frac{V_v}{V_k}\right)^N$$

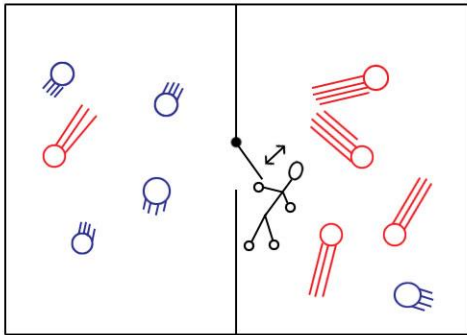
$$k \ln \left(\frac{W_v}{W_k} \right) = nN_A k \ln \left(\frac{V_v}{V_k} \right)$$

$$k \ln W_v - k \ln W_k = nR \ln \left(\frac{V_v}{V_k} \right)$$

$$S_v - S_k = nR \ln \left(\frac{V_v}{V_k} \right)$$

$$S = k \ln W$$

Maxwell démon



Démon: szelektálás



zárt rendszer entrópiája csökken



II. főtétele

paradoxon feloldása:

Szilárd Leó (démon entrópia növekedése)

Rolf William Landauer (véges memóriakapacitás - irreverzibilis)