

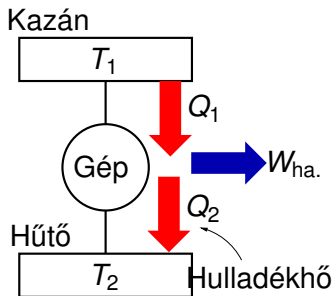
Fizika

Szabó István PhD

PTE MIK 2019.

Az entrópia

A természetben a mechanikai munka teljes egészében átalakítható hővé. Az elvont hő viszont nem alakítható át teljes egészében mechanikai munkává!



$$\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1^*}{T_1} = 0$$

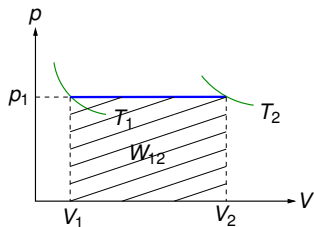
$$\lim_{\Delta Q \rightarrow \infty} \sum_i^N \frac{dQ_i}{T_i} = 0$$

Az entrópia

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$
$$dS = \frac{dQ}{T} \rightarrow dQ = TdS$$

Az entrópia a klasszikus termodinamikában a munkára nem fogható energia mértéke. Az S entrópia állapotfüggvény akárcsak U , T és p . Az entrópia additív, tehát extenzív mennyiség.

Izobár folyamat

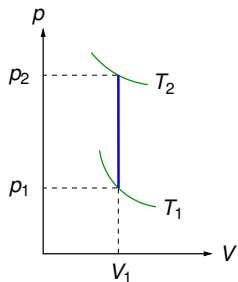


$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{c_p m dT}{T}$$

$$\Delta S_{12} = c_p m \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

Izochór folyamat

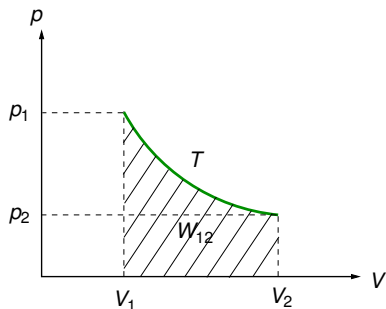


$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{c_V m dT}{T}$$

$$\Delta S_{12} = c_V m \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

Izoterm folyamat



$$dQ = dW$$

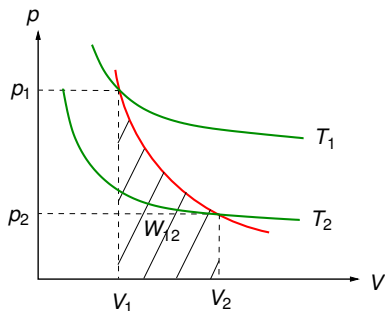
$$\Delta S_{12} = \frac{1}{T} \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} RT \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S_{12} = \frac{m}{M} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S_{12} = \frac{p_1 V_1}{T} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Kvázisztatikus adiabatikus folyamat

Kvázisztatikus adiabatikus folyamat során nem lép fel hőcsere a rendszer és a környezete között, mert hőszigeteléssel erről gondoskodunk (termosz).



Mivel nincs hőcsere az entrópiaváltozás nulla.

$$dS = 0$$

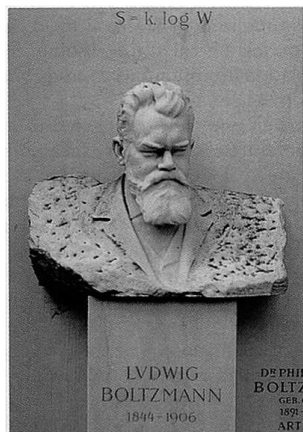
Az entrópiatétel

Az entrópiatétel szerint zárt termodinamikai rendszer entrópiája nem csökkenhet. Másképpen fogalmazva a rendszerben csak olyan spontán folyamatok lehetségesek, amikor az entrópia nem növekszik.

$$dS \geq 0$$

Egyensúlyi állapotban az entrópia maximális, így változása zérus. Úgy is fogalmazhatunk, hogy egy termodinamikai rendszer egyensúlyának feltétele az entrópia maximum.

Az entrópia a statisztikus termodinamikában



$$S = k \ln(\Omega)$$

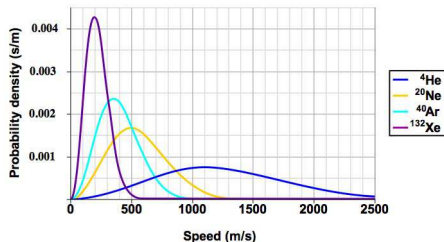
Ω : ún. mikroállapotok száma. Az entrópia nem más, mint a rendszer rendezetlenségének mértéke.

A Maxwell-féle sebességeloszlás

Maxwell elméleti megfontolások alapján meg tudta határozni a gázok sebességeloszlását, a hőmérséklet és a részecskeszám függvényében.



Maxwell-Boltzmann Molecular Speed Distribution for Noble Gases



A Maxwell-démon

Maxwell rámutatott, hogy egy démon (vagy egy gép) képes lehet a sebességeloszlást kihasználva megsérteni a második főtételt.

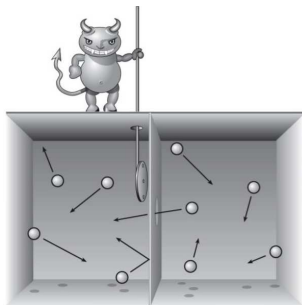


Figure 5



Figure 6

A Szilárd-gép

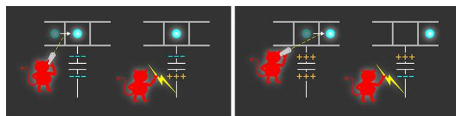
<https://physics.aps.org/articles/v8/127> (2015)

L. Szilard, “On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings,” *Z. Phys.* 53, 840 (1929).

Szilard was never comfortable with the need to introduce a metaphysical, human-like intelligence to operate Maxwell’s demon. Instead, he thought that it should be possible to construct autonomous, maybe even mechanical, systems that act like a demon yet fully obey the laws of physics—a fully inclusive conceptual approach.

Démon űzés Szilárd módra

Szilárd kimutatta, hogy a démonnak (vagy gépnek) mérést kell végezni, ahhoz, hogy meghatározza a molekulák sebességét. Ehhez entrópiára van szükség. Így a második főtétel érvényessége megmarad.



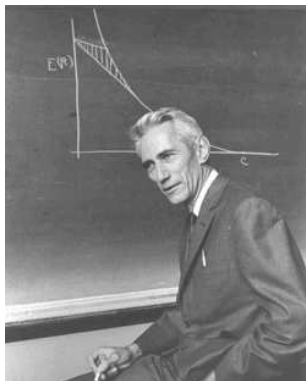
A csodás ötletek halmozója

Az entrópia összekapcsolása az információval egy új tudományág alapját jelentette.



Az entrópia az információelméletben

Az információelmélet megalapítója: Claude Shannon.



Az információ definíciója az információelméletben:

$$I = -\frac{1}{\ln(2)} \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i)$$

p : egy esemény valószínűsége. Az információelméletben az entrópia arányos a rendszerre vonatkozó információ-hiánnyal.

A fundamentális függvény és az Euler reláció

A klasszikus termodinamika alapvető függvénye a \leq relációval kifejezve az első és a második főtételt is magába foglalja:

$$dU \leq TdS - pdV + \mu dn$$

Matematikailag igazolható, hogy a belső energia felírható a következő formában:

$$U = TS - pV + \mu n.$$

Ez az ún. Euler reláció.

A fundamentális függvény

$U = TS - pV + \mu n$ kifejezés ún. teljes differenciálja a következő:

$$dU = TdS + SdT - pdV - Vdp + \mu dn + nd\mu$$

Ez csak akkor van összhangban a fundamentális összefüggéssel, ha:

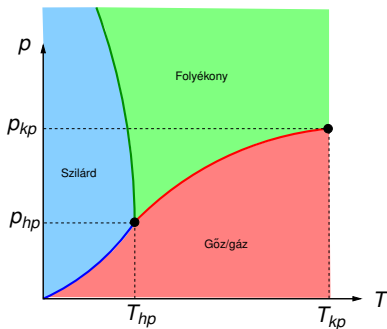
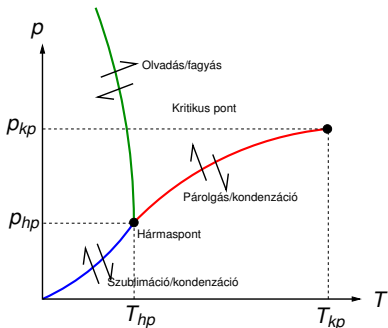
$$dU = TdS - pdV + \mu dn \underbrace{- SdT - Vdp + nd\mu}_0$$

A Gibbs-Duham reláció

$$\begin{aligned} -SdT - Vdp + nd\mu &= 0, \\ \mu &= sdT + vdp, \end{aligned}$$

ahol $s = S/n$ és $v = V/n$ fajlagos entrópia és térfogat. Ez az ún. Gibbs-Duham reláció. Ez a reláció (a kémiai potenciál miatt) kulcsfontosságú az elsőrendű fázisátalakulások vizsgálata során.

Fázisátalakulások



Fázisátalakulások

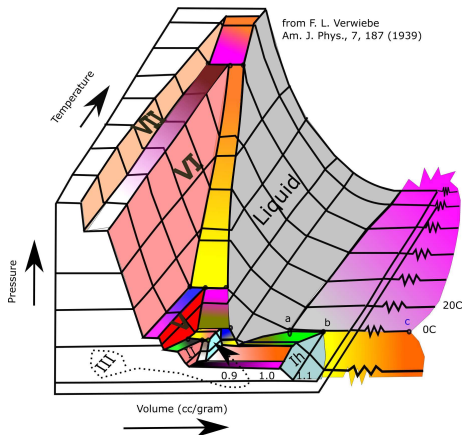
A Clausius-Clapeyron egyenlet

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_{\text{gáz}} - S_{\text{foly}}}{V_{\text{gáz}} - V_{\text{foly}}}$$

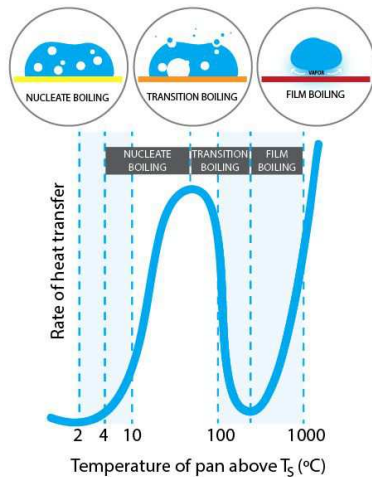
$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T (V_{\text{gáz}} - V_{\text{foly}})}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_{\text{foly}} - S_{\text{szil}}}{V_{\text{foly}} - V_{\text{szil}}} < 0$$

A víz fázisátalakulásai



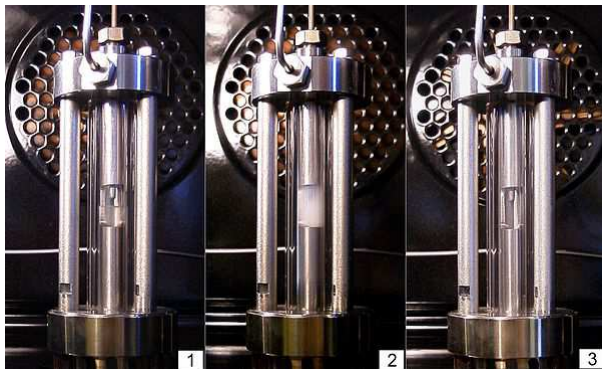
A víz fázisátalakulásai



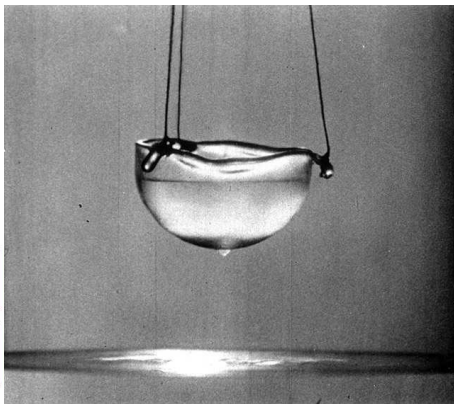
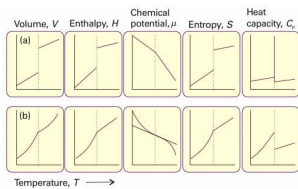
A víz fázisátalakulásai



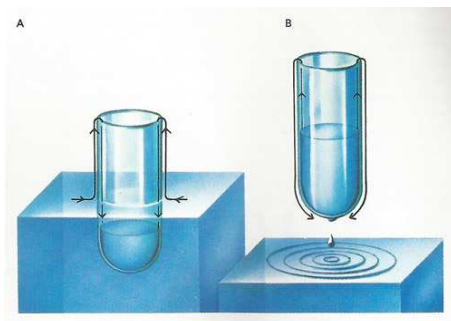
A kritikus pont



Első és másodrendű fázisátalakulások

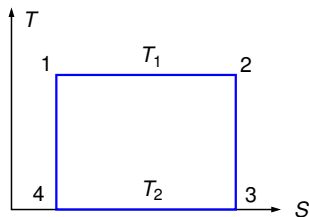


A szuperfolyékony He_{II}



A harmadik főtétel

Működtessünk egy Carnot-ciklust, úgy, hogy a a hűtő hőmérséklete legyen $T_2 = 0$ K. Ekkor arra a következtetésre jutunk, hogy nincs hőleadás. Ez sérti a második főtételt!



A harmadik főtétel

Az ellentmondás oka az a hamis feltevés, hogy az abszolút zérus pont megközelíthető. A termodinamika harmadik főtétele szerint a homogén anyagok entrópiája az abszolút zérushoz közeledve nullához tart. Ennek egyik következménye, hogy a fajhő is nullához tart. A fajhő eltűnése teszi lehetetlenné az abszolút zérus elérését. Ha létezne, olyan gép, amely egy homogén anyagot nulla kelvinre hűtene azt harmadfajú perpetuum mobilének neveznénk.

A természetben nincs és nem is készíthető harmadfajú perpetuum mobile.

Kriogenika

- A gázcseppfolyósítások korszaka
- Az elektronrendszer adiabatikus lemágnesezése
- Az atommagok demagnetizációja
- Lézeres hűtés

Nagy eredmények: Atomok befogása elektro-optikai és magneto-optikai csapdába. A Bose-Einstein kondenzáció megvalósítása.