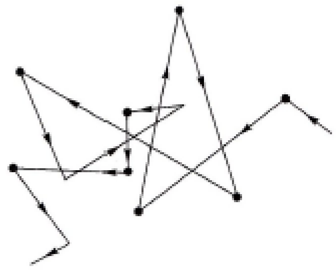
Fizika 1i

Hőtan 2

Kinetikus gázelmélet

Brown mozgás:



Avogadro

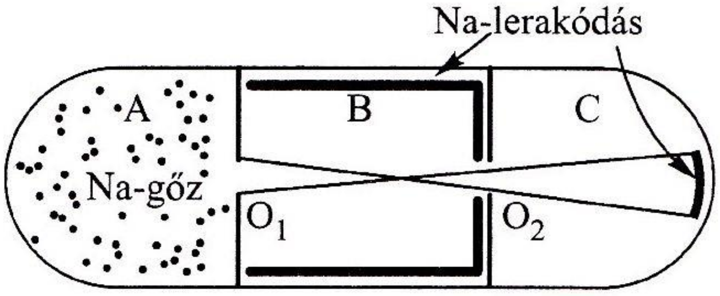
Az anyag atomokból, molekulákból áll.

Leukipposz,
Demokritos,
Dalton

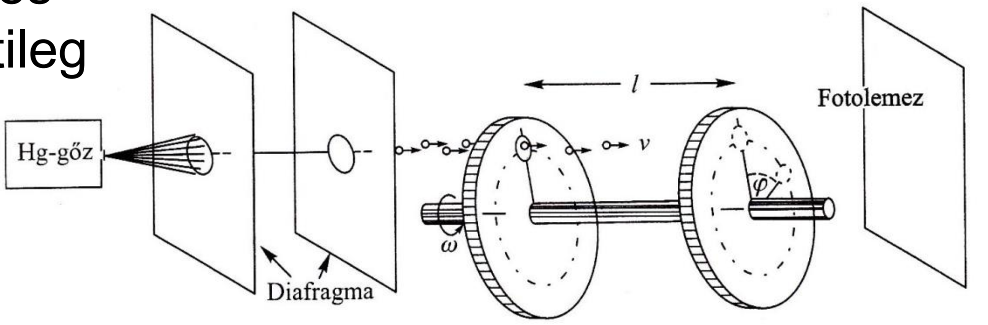
A kinetikus gázelmélet alapfeltevései:

- az ideális gázok pontszerű atomokból/molekulákból állnak
- nagyszámú részecske (10^{24})
- a gázrészecskék egymással és az edény falával ütköznek, más kölcsönhatás nincs
- egyensúlyban a gázrészecskék egyenletesen töltik ki a teret

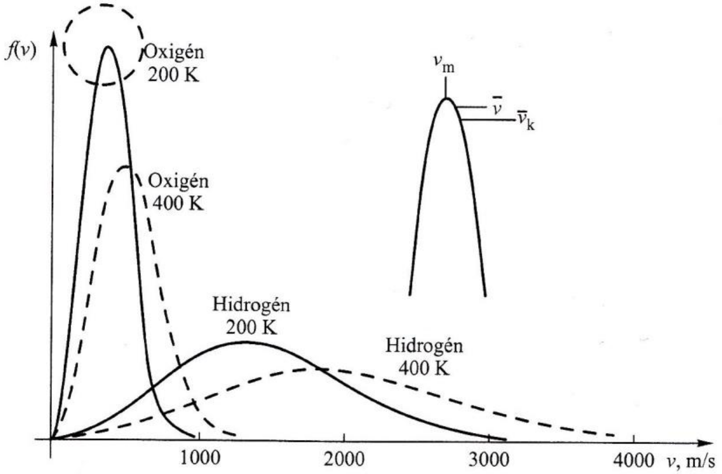
Dunoyer-kísérlet: ha a gáz részecskéi egymással nem ütköznek,
egyenes vonalban haladnak.



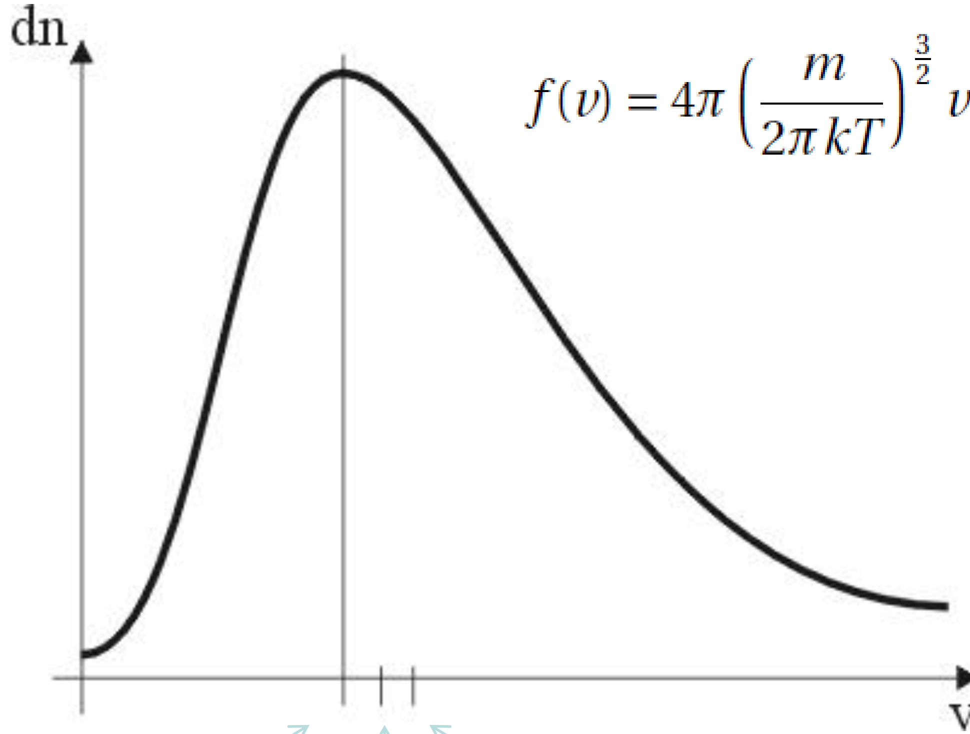
Eldridge-Lammert-féle berendezés
A részecskék sebessége kísérletileg meghatározható



Az egyes részecskék sebessége nem azonos
Az események leírása statisztikai függvényekkel lehetséges



Maxwell eloszlás



$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 \mathrm{e}^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

$\mathrm{v}_{\mathrm{max}}$

$\mathrm{v}_{\mathrm{átlag}} = \bar{v}$

$\mathrm{v}^2_{\mathrm{átlag}} = \overline{v_k} = \sqrt{\overline{v^2}}$

négyzetes középsebesség:

$$\bar{v}_{\mathrm{k}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

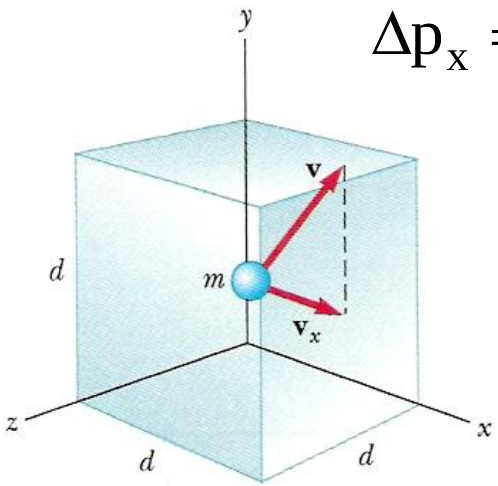
egy részecske átlagos energiája:

$$\bar{\epsilon}_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

a hőmérséklet statisztikai értelmezése:

$$T = \frac{2}{3k}\bar{\epsilon}_{\mathrm{k}}$$

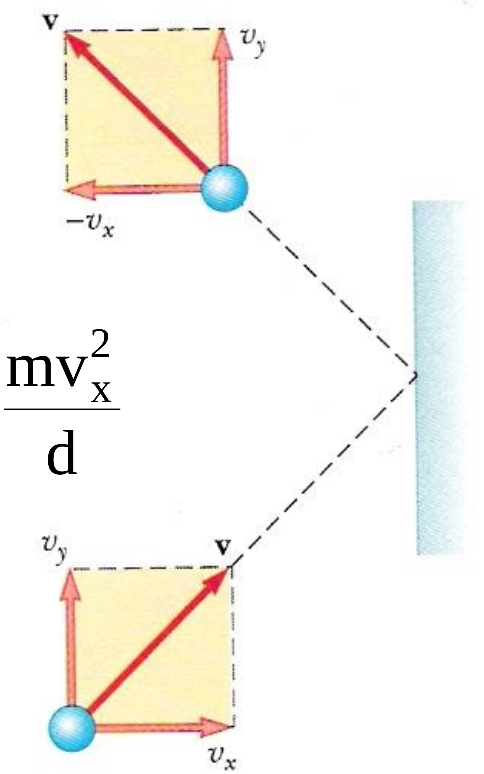
Kinetikus gázelmélet alapjai



$$\Delta p_x = -mv_x - (mv_x) = -2mv_x$$

$$F_x \Delta t = \Delta p_x = 2mv_x$$

$$F_x = \frac{2mv_x}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2d/v_x} = \frac{mv_x^2}{d}$$



$$F_x = \frac{m}{d}\left(v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \ldots\right)$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{v_{1x}^2 + \ldots + v_{Nx}^2}{N}$$

$$F_x = \frac{Nm}{d}\overline{v_x^2}$$

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$$

$$F_x = \frac{N}{3d} m\overline{v^2}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{d^2}$$

$$\boxed{p = \frac{2}{3}\frac{N}{V}\left(\frac{1}{2}m\overline{v^2}\right)}$$

$$pV = \frac{2}{3} N\left(\frac{1}{2} m\overline{v^2}\right) = nRT = \frac{N}{N_A} RT = N\left(\frac{R}{N_A}\right) T = N k_B T$$

$$\left(\frac{1}{2} m\overline{v^2}\right) = 3 \cdot \frac{1}{2} k_B T \qquad f = 3$$

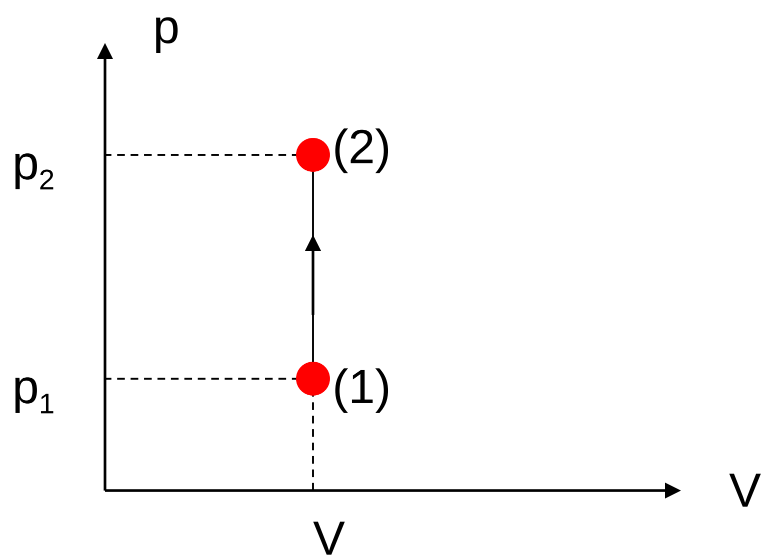
$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

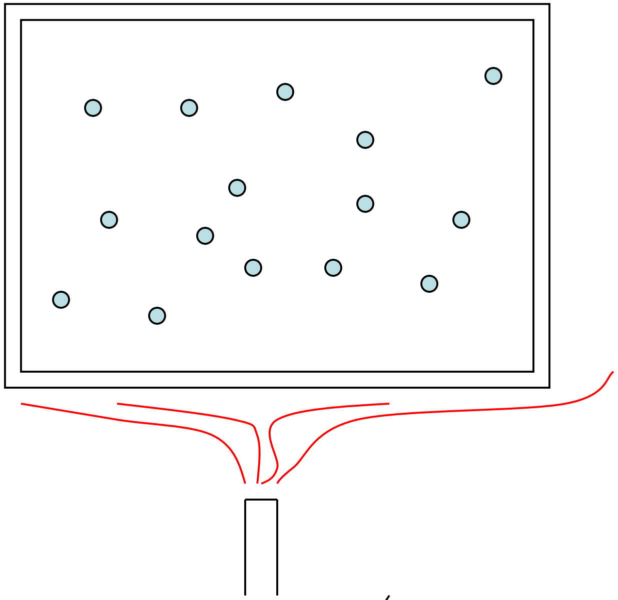
belső energia: $E_k = N\left(\frac{1}{2} m\overline{v^2}\right) = N \frac{3}{2} k_B T = n \frac{3}{2} RT$

Izochor állapotváltozás

V = const.

W=0





$$\Delta U = \Delta Q + \cancel{W_s}$$

=0

$$\left.\begin{aligned} p_1V_1 &= nRT_1 \\ p_2V_2 &= nRT_2 \end{aligned}\right\} \quad V\Delta p = nR\Delta T$$

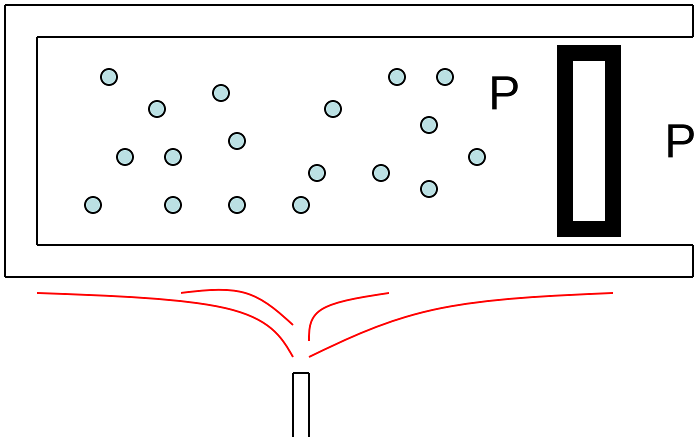
f=3

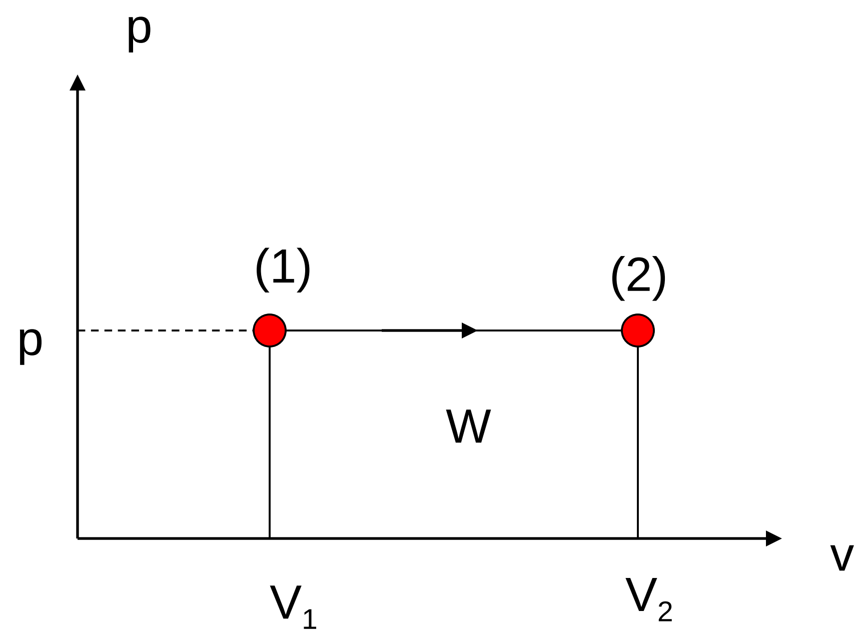
$$U = n\frac{3}{2}RT \quad \rightarrow \quad \Delta Q = \Delta U = n\left(\frac{3}{2}R\right)\Delta T = nC_V\Delta T$$

$$C_V = \frac{f}{2}R$$

$$\boxed{U = nC_VT = n\frac{f}{2}RT}$$

Izobár állapotváltozás





$$\left.\begin{array}{l} pV_1=nRT_1 \\ pV_2=nRT_2 \end{array}\right\} \quad p(V_2-V_1)=nR(T_2-T_1)$$

$$\downarrow$$

$$W=p\Delta V=nR\Delta T$$

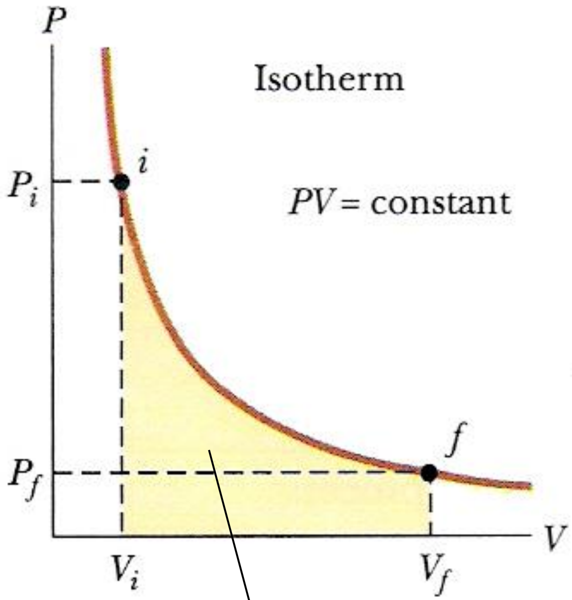
$$\Delta U = \Delta Q - W_g$$

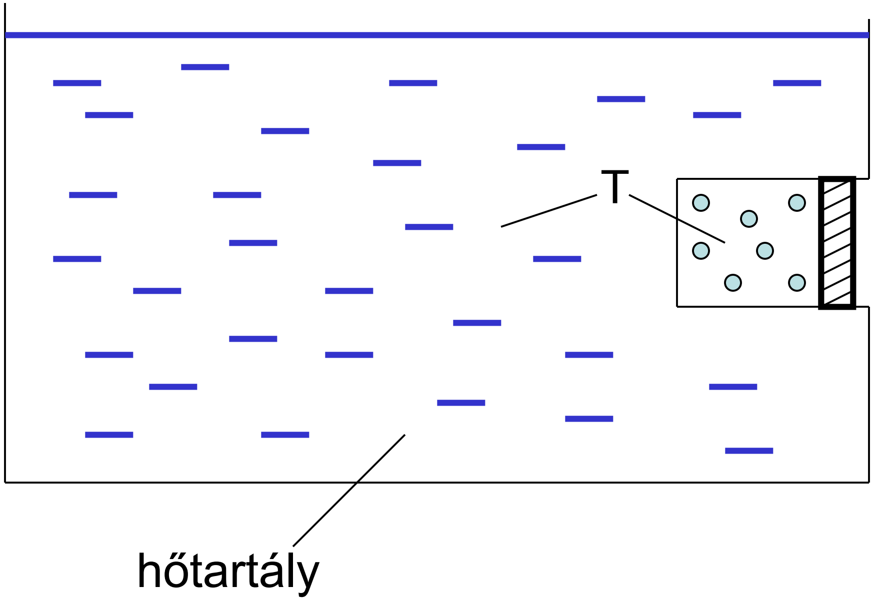
$$\Delta Q = \Delta U + W_g = n\frac{f}{2}R\Delta T + p\Delta V = n\frac{f}{2}R\Delta T + nR\Delta T = n\left(\frac{f+2}{2}R\right)\Delta T$$

$$\Delta Q = nC_P\Delta T \qquad C_P = \frac{f+2}{2}R$$

Izoterm állapotváltozás

$\Delta T=0$





$$W_g = nRT\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\Delta U = \Delta Q - W_g \qquad \Delta U = nC_V\Delta T = 0$$

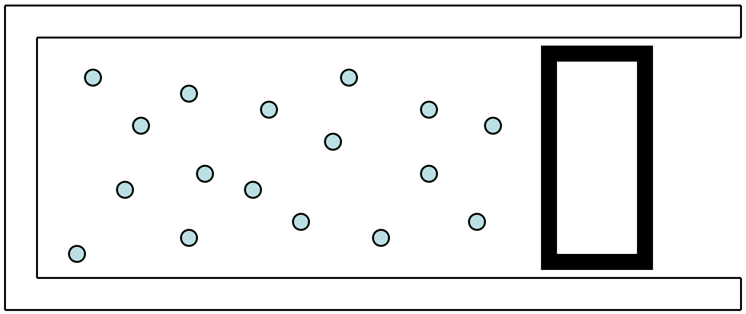
$$W_g = \Delta Q$$

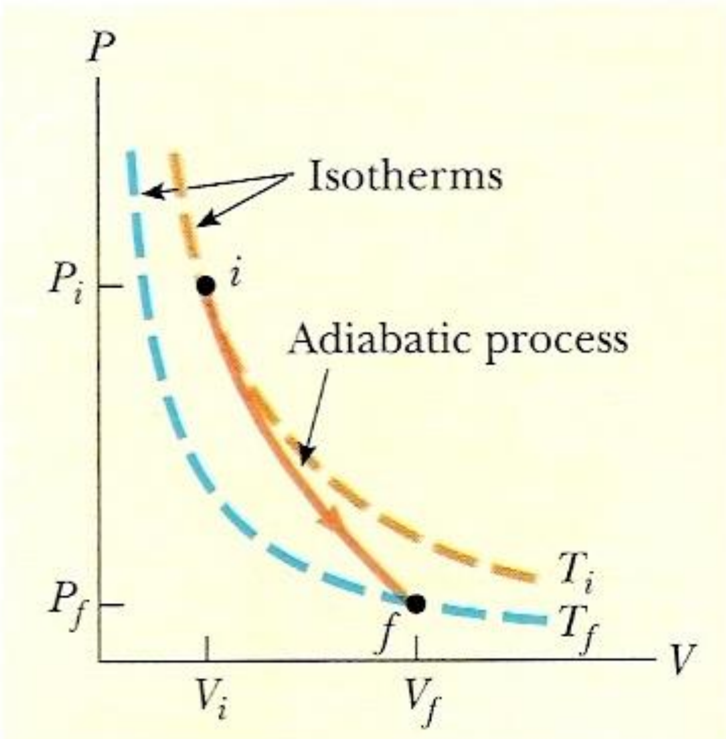
Adiabatikus állapotváltozás

$\Delta Q=0$

$$\Delta U = \Delta Q - W_g$$

$$\Delta U = -W_g$$



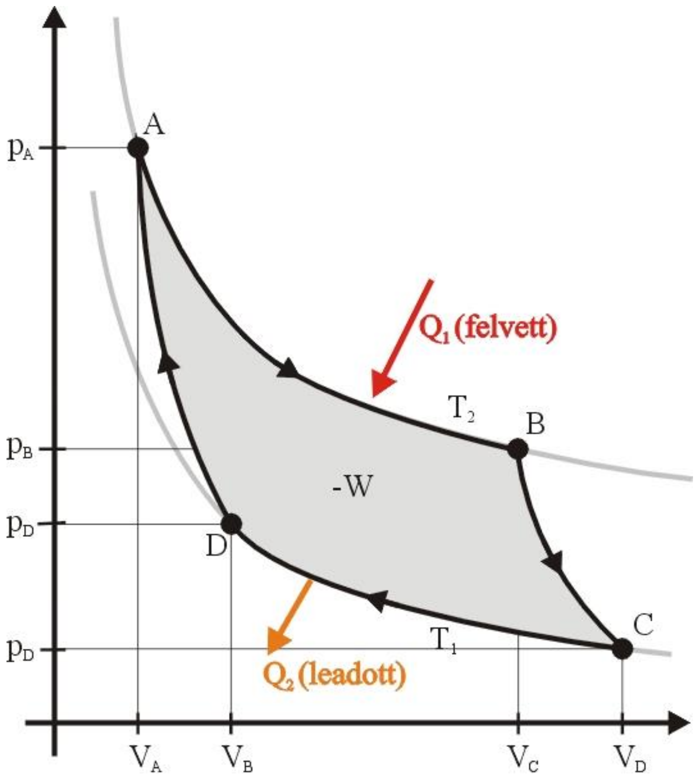


$$pV^{\kappa} = \text{const.}$$

$$\kappa = \frac{C_P}{C_V} = \frac{f+2}{f}$$

$$p_1 V_1^{\kappa} = p_2 V_2^{\kappa}$$

A Carnot-féle körfolyamat



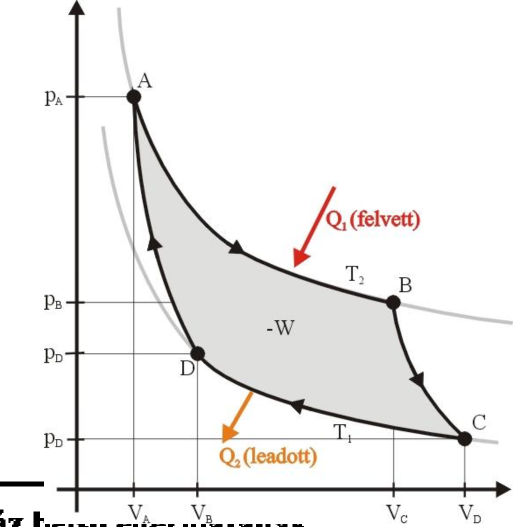
A körfolyamat részei:

Izotermikus tágulás (A-B)
Adiabatikus tágulás (B-C)
Izotermikus összenyomás (C-D)
Adiabatikus összenyomás (D-A)

A körfolyamat során végzett munka:

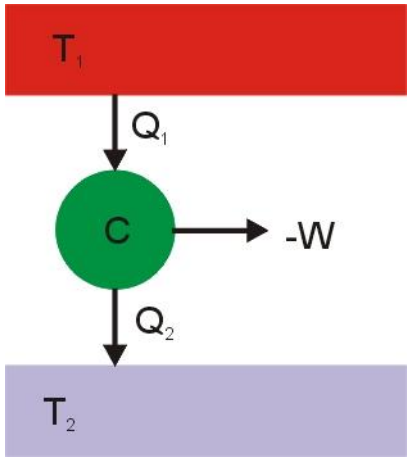
$$-W = Nk(T_2 - T_1)\ln\frac{V_B}{V_A}$$

Részletesebben:

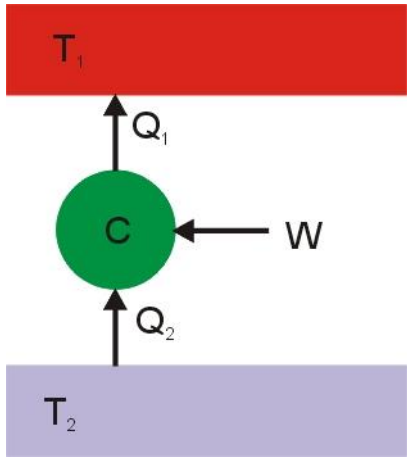


Folyamat	A gáz által végzett munka (*W*)	A gázzal közölt hő (*Q*)	A gáz belső energiájának megváltozása (*ΔU*)
$A \rightarrow B$ Izotermikus tágulás $p_A V_A = p_B V_B$	$nRT_2 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	$Q_2 = nRT_2 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	0
$B \rightarrow C$ Adiabatikus tágulás $p_B V_B^\kappa = p_C V_C^\kappa$	$\frac{nR}{\kappa - 1}(T_2 - T_1)$	0	$nC_v(T_1 - T_2)$
$C \rightarrow D$ Izotermikus összenyomás $p_C V_C = p_D V_D$	$nRT_1 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$ vagy $-nRT_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	$Q_1 = nRT_1 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)$ vagy $-nRT_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	0
$D \rightarrow A$ Adiabatikus összenyomás $p_D V_D^\kappa = p_A V_A^\kappa$	$\frac{nR}{\kappa - 1}(T_1 - T_2)$	0	$nC_v(T_2 - T_1)$
Eredő változás egy teljes ciklusra	$nR(T_2 - T_1) \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	$nR(T_2 - T_1) \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$	0

Hőerőgép



Hűtőgép



A végzett munka: $-W = Q_1 + Q_2$

Hatásfok (ideális, reverzibilis körfolyamat esetén):

$$\eta = \frac{-W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

A redukált hők összege: $$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

Reverzibilis és irreverzibilis folyamatok

Az I. főtétel számos folyamatot megenged

Reverzibilis folyamatok: mindkét irányba lejátszódnak
Valóság: számos folyamat csak egy irányba valósul meg önként:
 súrlódási munka - hő
 környezetnél melegebb testek lehűlése
 víz + só – feloldódás

Számos folyamat **irreverzibilis**
 külső beavatkozás nélkül végbemennek
 egyensúly (intenzív paraméterek kiegyenlítődése)
 fordított irányba nem játszódnak le

A termodinamika második főtétele

Clausius-féle megfogalmazás:
nem létezhet olyan folyamat (gép), amelyben a hő önként, munkavégzés nélkül egy hidegebb testről egy melegebb testbe menne át

Kelvin-Planck-féle megfogalmazás:
nem létezhet olyan folyamat (gép), melyben egy test hőt veszít, és az teljes egészében (100 % hatásfokkal) munkává alakulna át
Nem létezik **másodfajú örökmozgó:**
olyan gép, amely a környezetből felvett hőenergiát veszteségek nélkül munkavégzésre fordítja

Reverzibilis és irreverzibilis Carnot-féle körfolyamat

Reverzibilis Carnot-féle körfolyamat esetén:

A hatásfok független az anyagi minőségtől.

A redukált hők összege 0.

Clausius-féle egyenlőség:

$$\oint \frac{\delta Q_{\mathrm{rev}}}{T} = 0$$

Irreverzibilis Carnot-féle körfolyamat:

veszteségek lépnek fel

$$\eta_{\mathrm{irrev}} < \eta_{\mathrm{rev}}$$

$$\frac{Q_{1,\mathrm{irrev}}}{T_1} + \frac{Q_{2,\mathrm{irrev}}}{T_2} < 0$$

Transzportfolyamatok

Transzportfolyamat: anyag, energia vagy más mennyiség az egyik helyről egymásikra jut
Kiváltja: adott *X intenzív mennyiség térbeli változása*
Pl. koncentrációkülönbség, elektromos potenciál, hőmérséklet
Hatására ΔY *extenzív mennyiség* $\Delta\tau$ *idő alatt áthalad*
Y : anyagmennyiség, tömeg, töltés, energia

Áramsűrűség:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{\Delta Y}{A \Delta \tau}$$

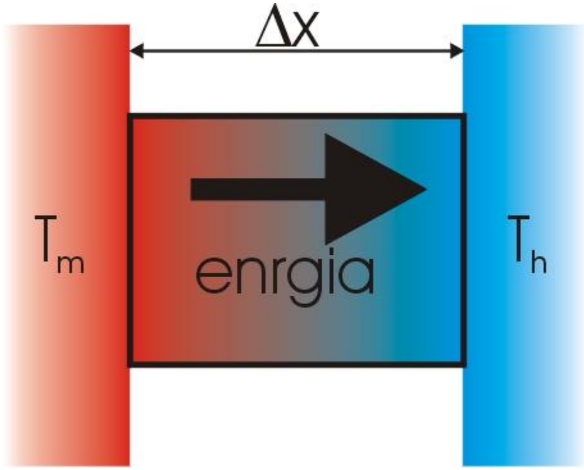
Termikus energia transzport

Intenzív mennyiség: hőmérséklet
Extenzív mennyiség: energia (hő)

Típusai:

- hővezetés
- hőáramlás
- hősugárzás

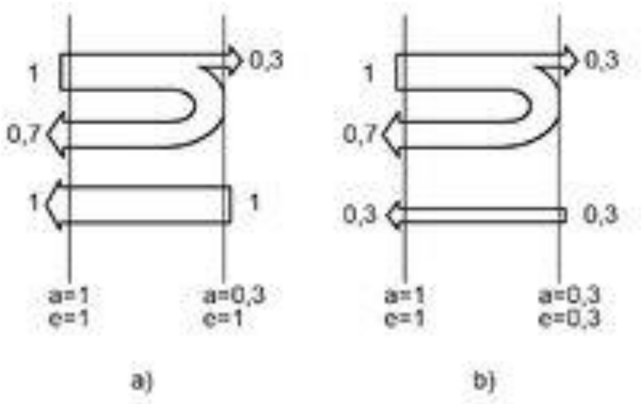
Hővezetés



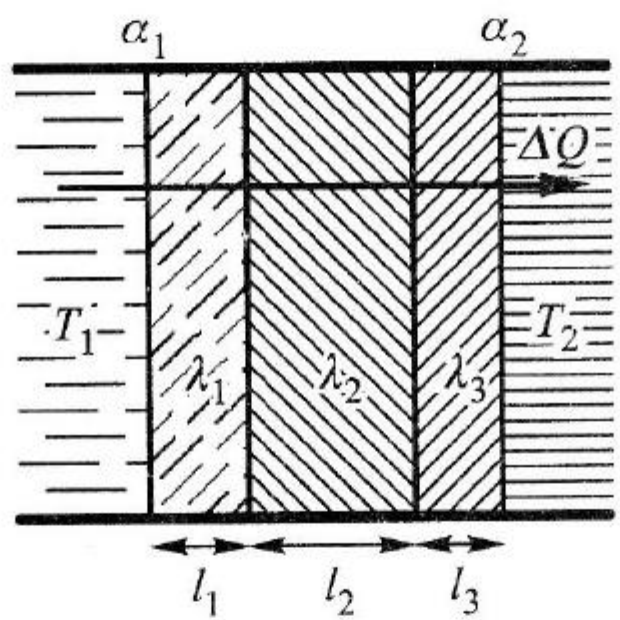
A hővezetést leíró egyenlet:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

λ : hővezetési együttható $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{msK}} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}$



Hőellenállás



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{A \Delta T}{\sum_i R_i}$$

Hőterjedés sugárzással

Közvetítő anyag illetve közeg nélküli hőterjedési jelenség. (elektromágneses sugárzás)

Elektromágneses hullámokat egy test részben:

- átengedi (átengedési tényező D≤1),
- visszaveri (visszaverődési tényező R≤1),
- elnyeli (abszorpciós, elnyelési tényező a≤1).

a+R+D=1

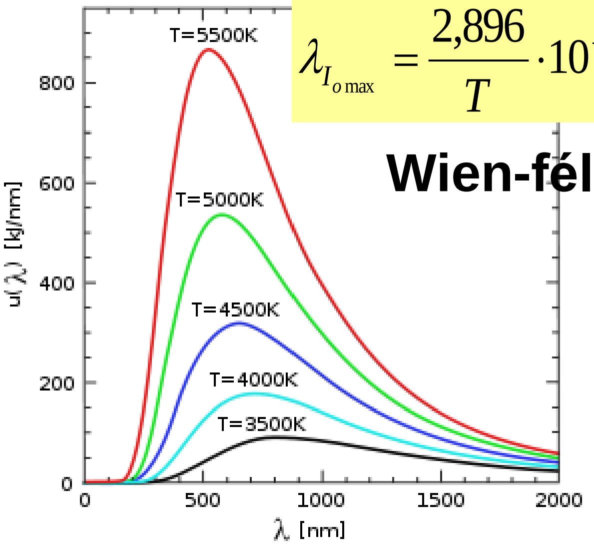
Abszolút fekete test (a=1).

Planck törvény

$$I_{o\lambda} = \frac{3{,}74 \cdot 10^{-16} \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{1{,}44 \cdot 10^{-2}}{\lambda \cdot T}} - 1} \left[\frac{W}{m^3}\right]$$

Stefan-Boltzmann törvény

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = e\sigma A T^4$$



$$\lambda_{I_{o\max}} = \frac{2{,}896}{T} \cdot 10^{-3}\ (m)$$

Wien-féle eltolódási törvény