Fizika i

Hőtan

Termodinamika

Korpuszkuláris elmélet:

a rendszerek szabad szemmel nem látható elemi részekből tevődnek össze.

Mechanika törvényei

differenciálegyenletek: mind gyakorlatilag, mind elméletileg (Heisenberg) megoldhatatlan

A termodinamika a mikroszkopikus mennyiségek helyett makroszkopikus, statisztikus (átlagos) mennyiségekkel dolgozik (pl. nyomás, belső energia, hőmérséklet).

Termodinamikai rendszer

A térnek jól definiálhatóan, képzelt vagy valós határfelülettel elkülönített része.

A rendszer állapotától függő makroszkopikus jellemzőket **állapotjelzők**nek (állapothatározóknak) nevezzük.

Az alap-állapot jelzők:

- tömeg (anyagmennyiség) m (n)
- térfogat V
- nyomás (p)
- hőmérséklet (T)
- koncentráció (c)

Extenzív: függnek a rendszer kiterjedésétől és additívak : tömeg (m), térfogat (V), belső energia (U),..

Intenzív: nem függenek a rendszer méretétől, és nem additivak: hőmérséklet (T), nyomás (p), koncentráció (c)

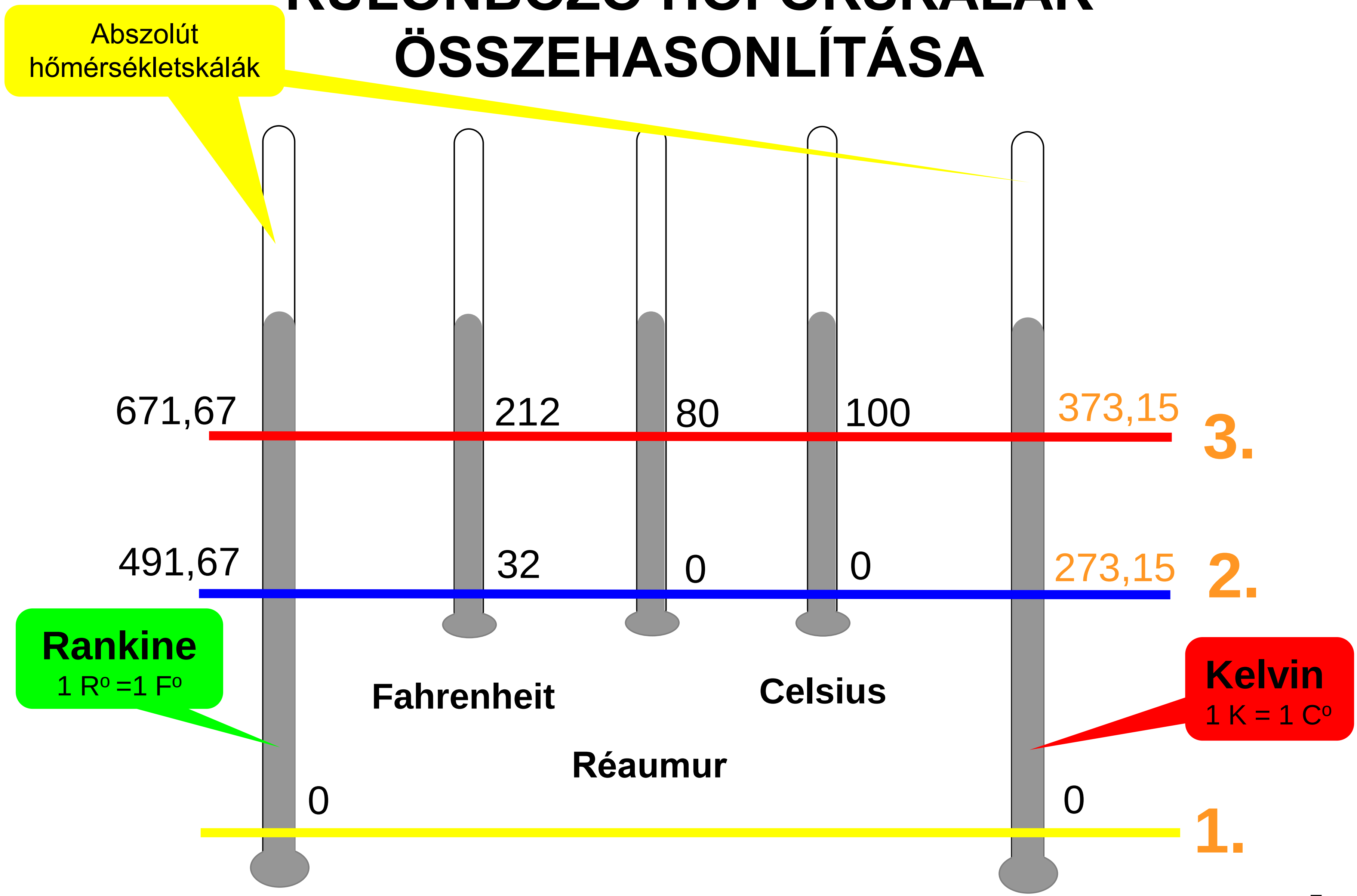
Hőmérséklet

Andres Celsius (1701-1744)

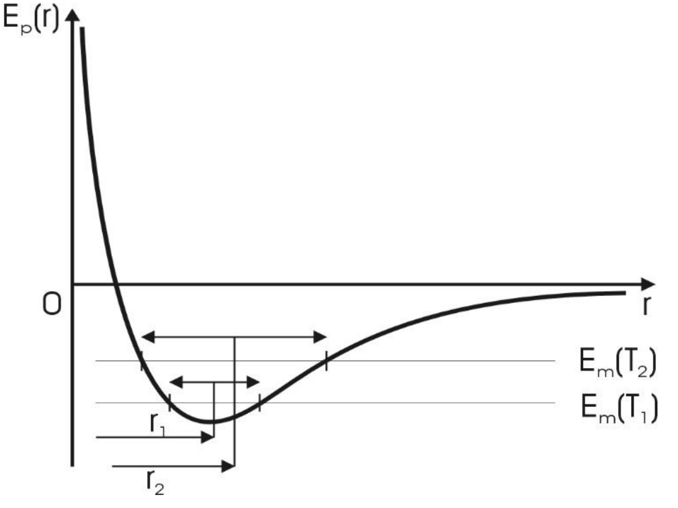
1737-ben tervezte meg a ma is általánosan használt (100 fokos beosztású) hőmérsékletskálát, melynek azóta is megőrizte nevét, sőt az egyik leggyakrabban elhangzó névvé tette világszerte. Ötlete, amelyet 1742-ben ismertetett a Svéd Akadémián tartott előadásában, leegyszerűsítette a hőmérsékletmérést, és a kapcsolódó számításokat.

Celsius azonban a forráspontot jelölte 0-val, s a fagyáspontot 100-al, a két számot 1750-ben Stromer svéd tudós cserélte fel.

KÜLÖNBÖZŐ HŐFOKSKÁLÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA



Hőtágulás



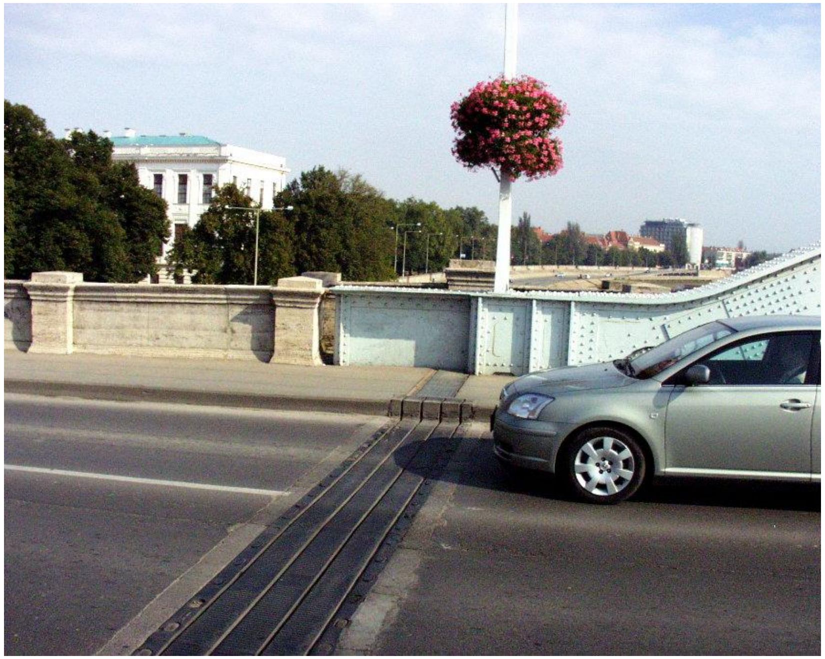
Szilárd testek:

Lineáris hőtágulás.

$$l = l_0(1+\alpha\Delta T) \qquad \Delta T = T - T_0$$

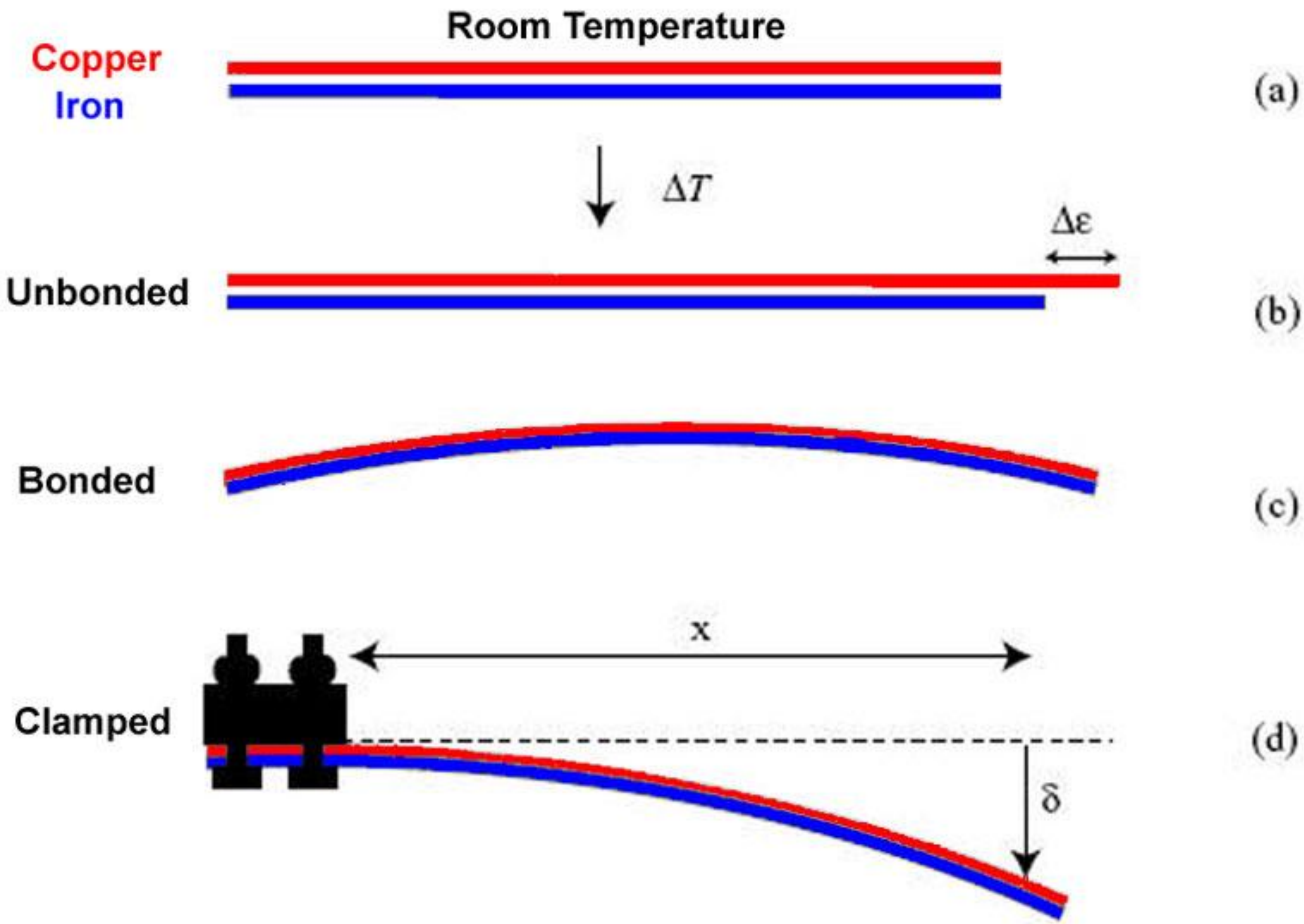
Térfogati hőtágulás

$$V = V_0(1+\beta\Delta T) \qquad \Delta T = T - T_0$$



Bimetal Strip

Two Metals Bonded Together with Different Coefficients of Expansion



Folyadékok termodinamikája.

Térfogati hőtágulás.

$V=V_0(1+\beta\Delta T)$ $\Delta T=T-T_0$

β a térfogati hőmérsékleti együttható,
$\beta=3\ \alpha$

Hőmennyiség

a testek hőmérséklet változásához szükséges energia.

Jele: Q

mértékegysége: J (joule)

$$Q=Cn\Delta T=cm\Delta T$$

ahol C [J/molK] a molhő, c [J/kgK] a fajhő.

Energiatranszport, amelyet a hőmérséklet-eloszlás inhomogenitása hoz létre

Hőátmenettel járó folyamatok:

- melegítés, hűtés
- fázisátalakulás
- kémiai reakció

Belső energia U:

a rendszert felépítő részecskék kinetikus és potenciális energiájának az összege.

Nem foglalja magában az egész rendszernek, mint makroszkopikus testnek a kinetikus és potenciális energiáját.

a belső energia abszolút értékét nem tudjuk pontosan megadni, csak a változását: ΔU.

0. főtétel: Izolált rendszer egyensúlyi állapot felé tart, a kialakuló egyensúly stabil

I. főtétel: Energia-megmaradás törvénye

Elszigetelt rendszer: $\Delta U = 0$

Zárt rendszer: $\Delta U = W + Q$

Gázok termodinamikája

Állapotegyenlet: az egyensúlyban levő rendszer állapotfüggvényei között teremt kapcsolatot.

Pl. ideális gáz állapotegyenlete:

$$pV = nRT$$

$R = 8{,}314\ \mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$

V [m^3]

T [K]

p [Pa]

n [mol]

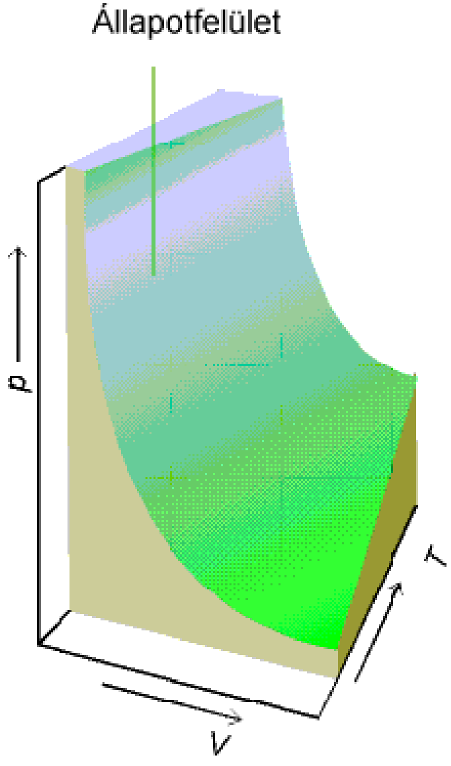
Ideális gáz:

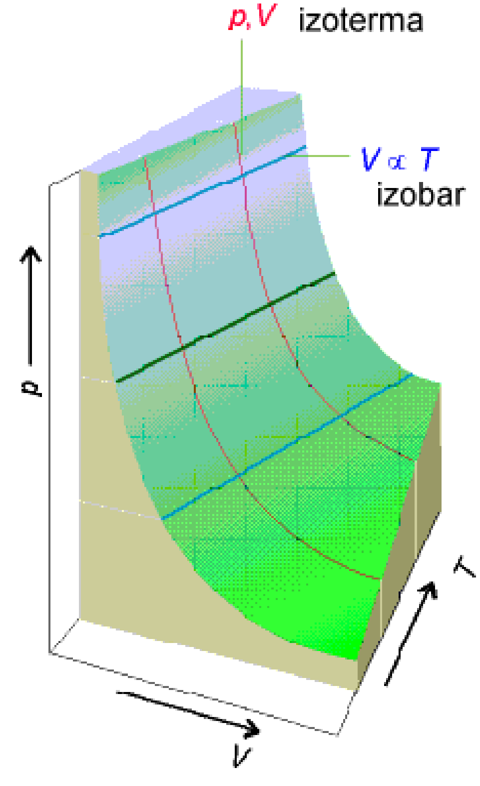
- nincs saját alakja,
- kitölti a rendelkezésre álló teret,
- kölcsönhatás a részecskék között csak ütközéskor

Valóságos anyagok állapotegyenletei empirikus függvények (hatványsor, diagram, táblázat formájában).

Az állapotegyenlet ábrázolása háromdimenziós koordinátarendszerben: ***<u>állapotfelület</u>***

f (*p*, *V*, *T*, *n*) = 0

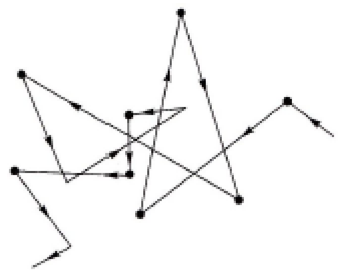




Kinetikus gázelmélet

Avogadro

Brown mozgás:



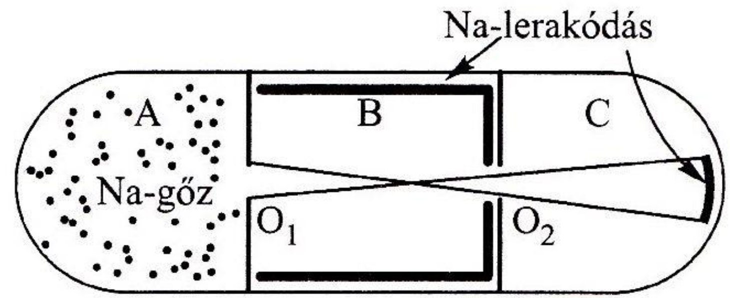
Az anyag atomokból, molekulákból áll.

Leukipposz,
Demokritos,
Dalton

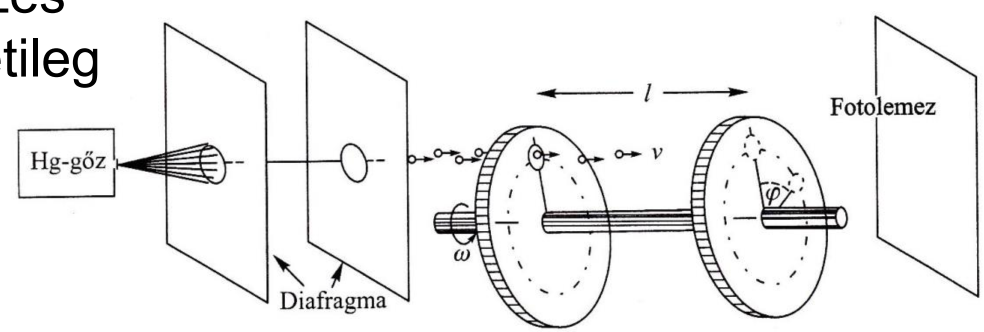
A kinetikus gázelmélet alapfeltevései:

- 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

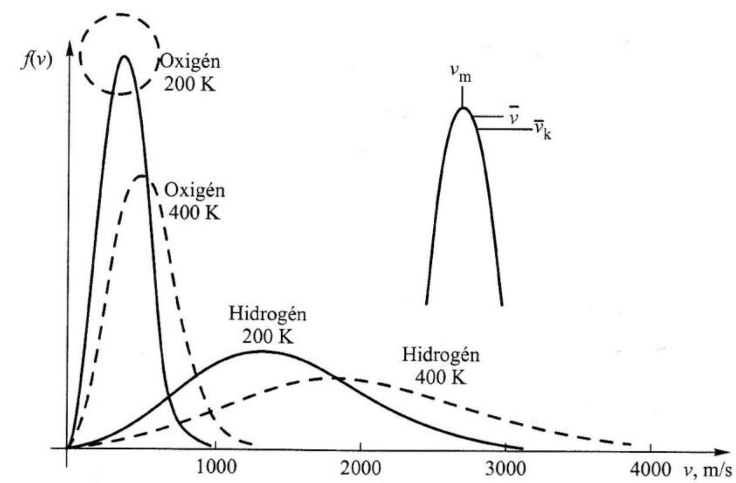
Dunoyer-kísérlet: ha a gáz részecskéi egymással nem ütköznek, egyenes vonalban haladnak.



Eldridge-Lammert-féle berendezés
A részecskék sebessége kísérletileg meghatározható

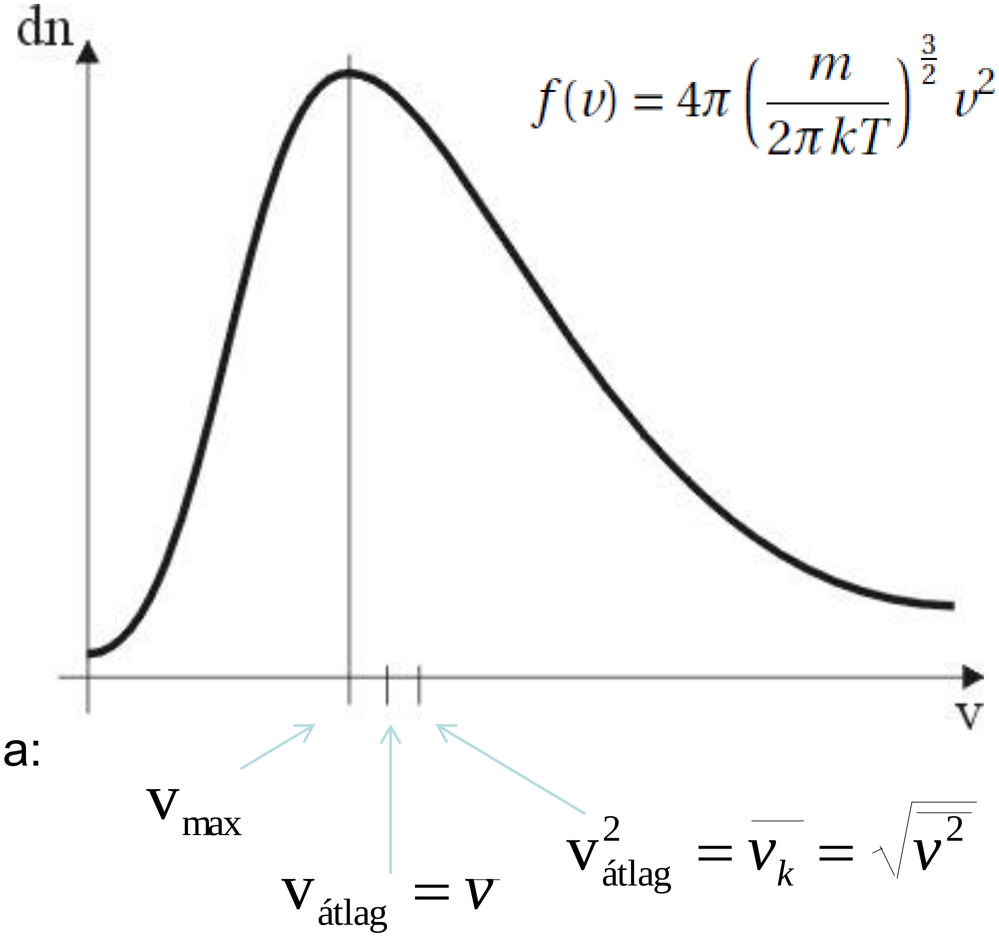


Az egyes részecskék sebessége nem azonos
Az események leírása statisztikai függvényekkel lehetséges



Maxwell eloszlás

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



négyzetes középsebesség:

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

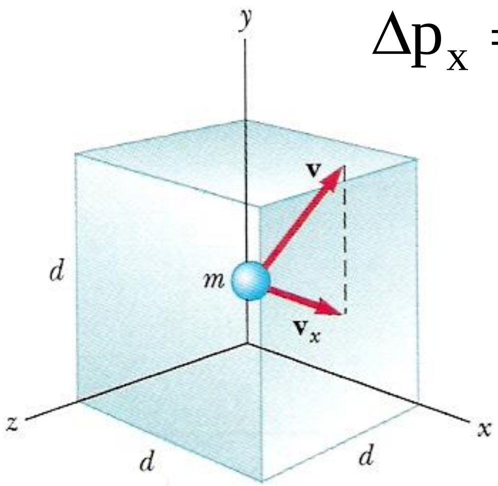
egy részecske átlagos energiája:

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

a hőmérséklet statisztikai értelmezése:

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

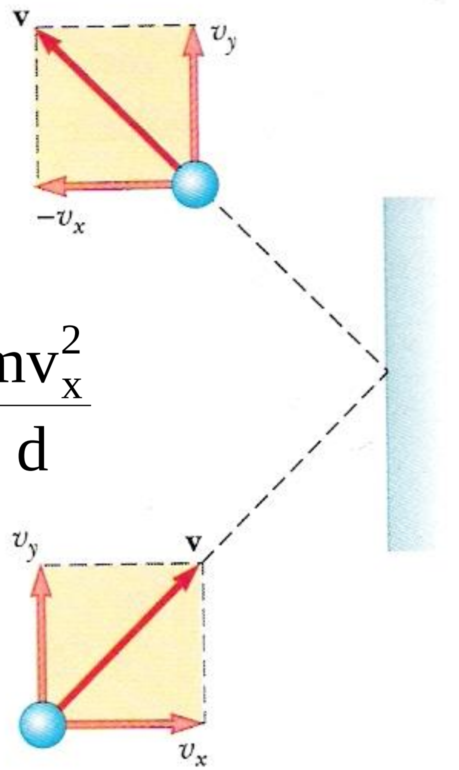
Kinetikus gázelmélet alapjai



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

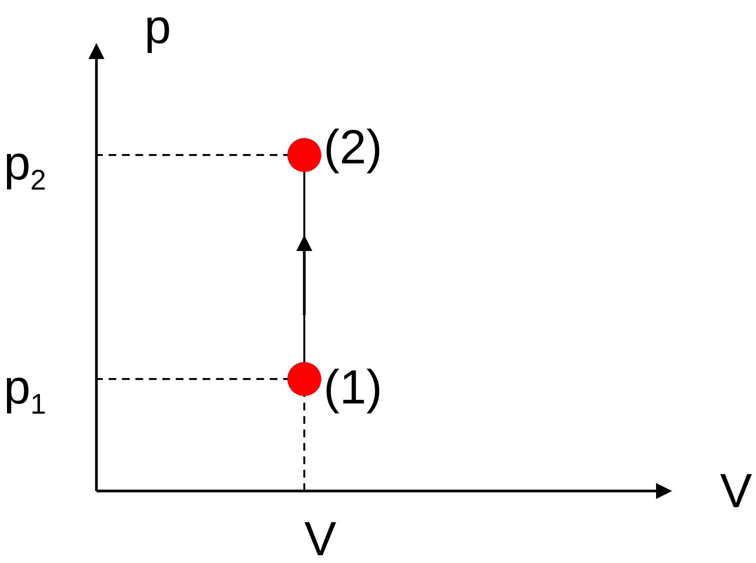
$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

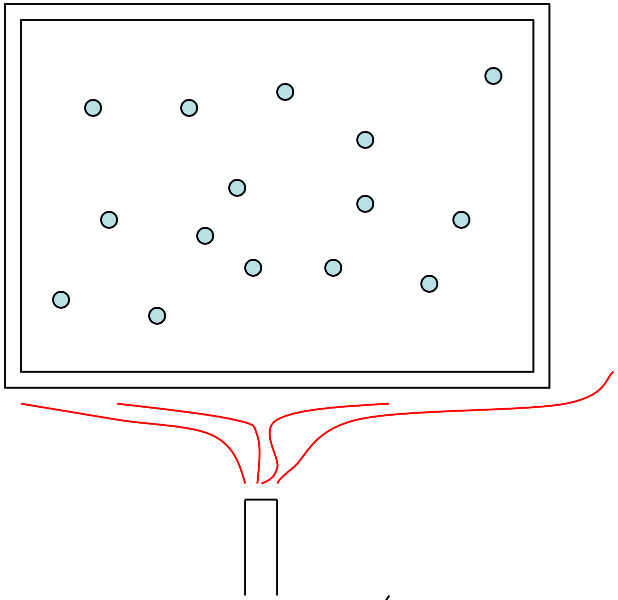
belső energia: $$E_k = N \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = N \frac{3}{2} k_B T = n \frac{3}{2} RT$$

Izochor állapotváltozás

$V = \text{const.}$

$W=0$





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

=0

$p_1V_1=nRT_1$

$p_2V_2=nRT_2$

$V\Delta p=nR\Delta T$

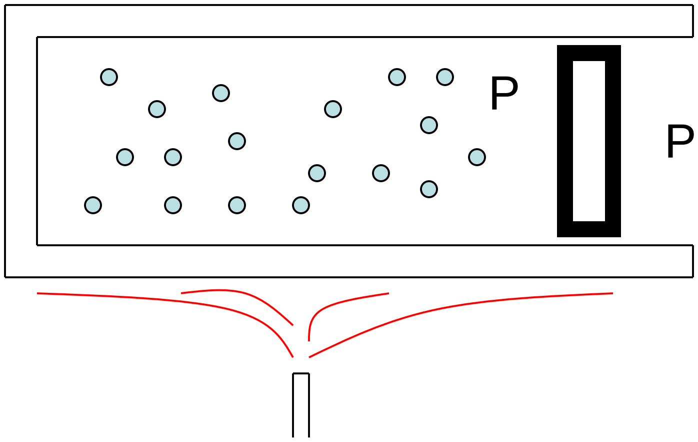
f=3

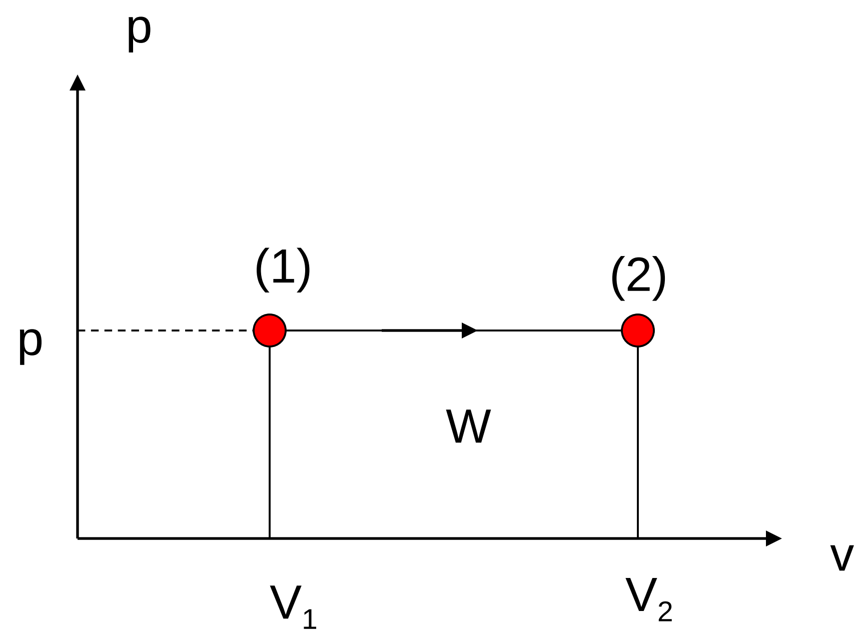
$$U = n\frac{3}{2}RT \rightarrow \Delta Q = \Delta U = n\left(\frac{3}{2}R\right)\Delta T = nC_V\Delta T$$

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

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

Izobár állapotváltozás





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

$$\downarrow$$

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

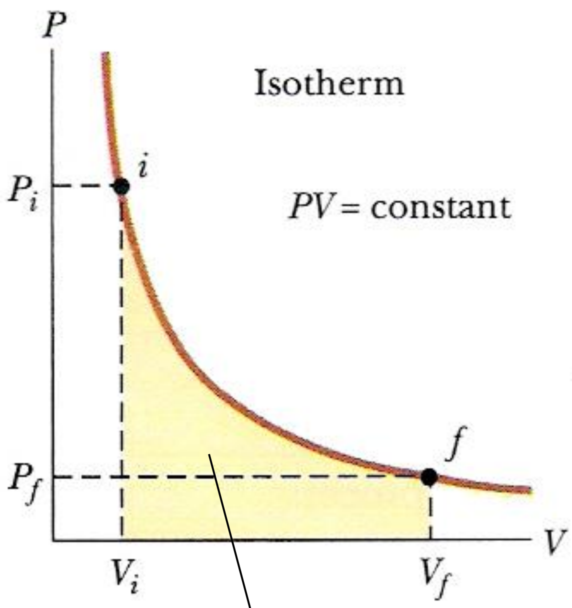
$$\Delta U = \Delta Q + W_g$$

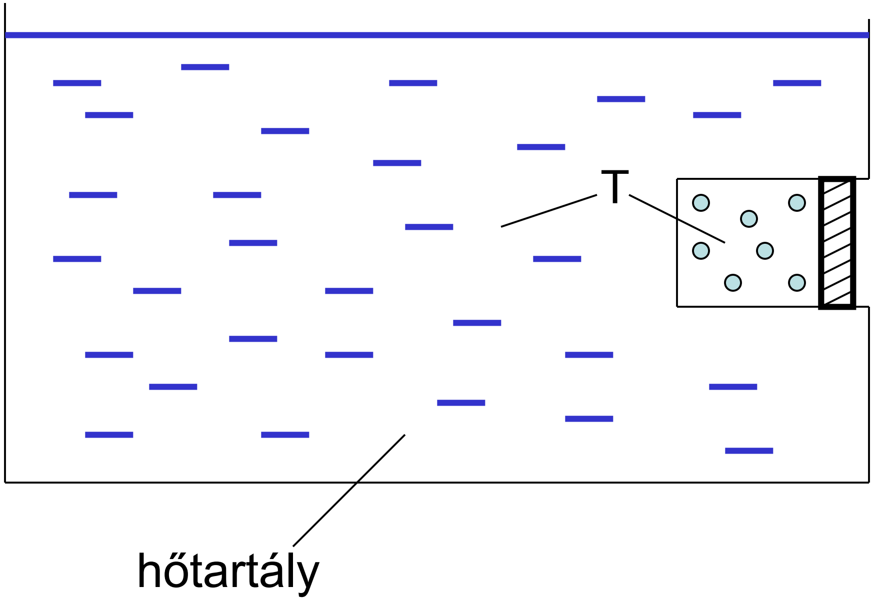
$$\Delta Q = \Delta U + W_g = n\frac{f}{2}R\Delta T + p\Delta V = n\frac{f}{2}R\Delta T + nR\Delta T = n\left(\frac{f+2}{2}R\right)\Delta T$$

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

Izoterm állapotváltozás

$\Delta T = 0$





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

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

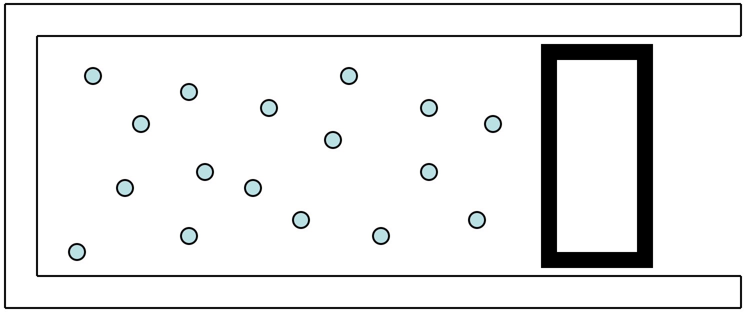
$$W_g = \Delta Q$$

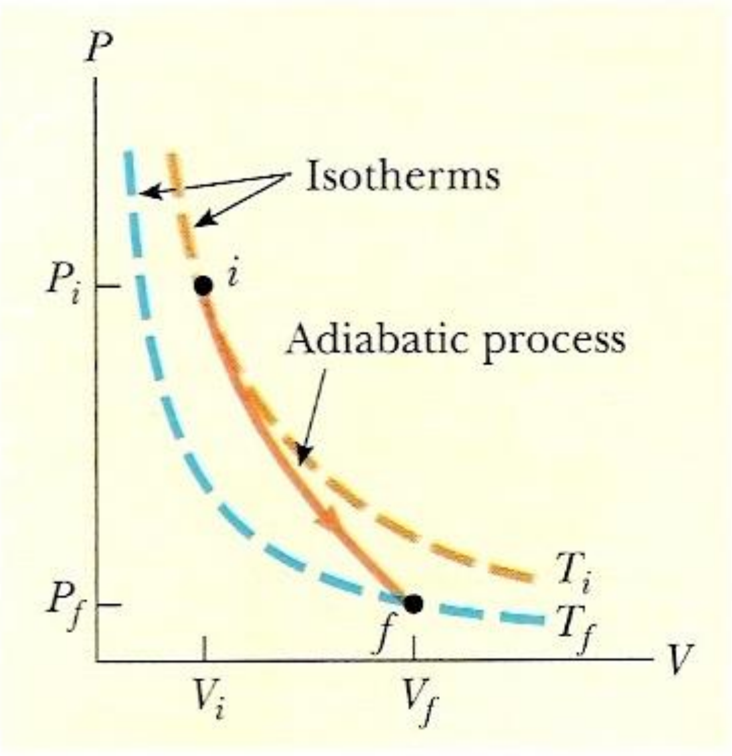
Adiabatikus állapotváltozás

$\Delta Q=0$

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

$$\Delta U = -W_g$$





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

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

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

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:

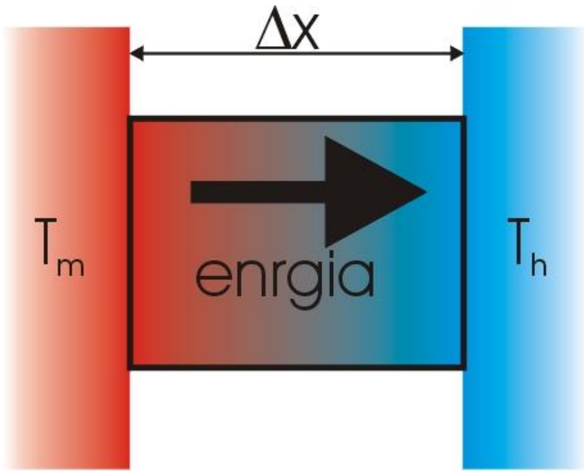
$$J = \frac{I}{A} = \frac{\Delta Y}{A \Delta \tau}$$

Termikus energia transzport

Intenzív mennyiség: hőmérséklet
Extenzív mennyiség: energia (hő)

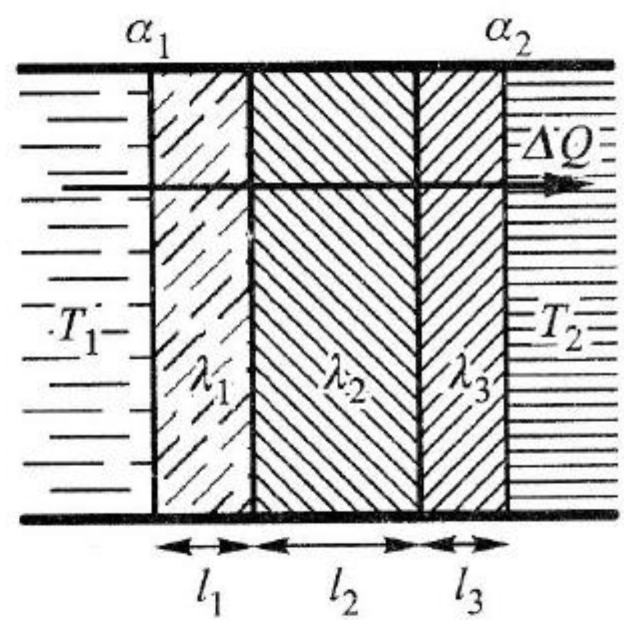
Típusai:

hővezetés
hőáramlás
hősugárzás



Hővezetés

Hőellenállás

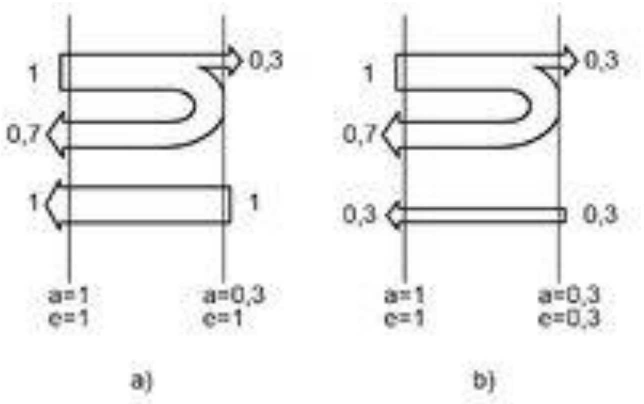


A hővezetést leíró egyenlet:

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

λ : hővezetési együttható $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m\,s\,K}} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}$

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



Hőterjedés sugárzással

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

Elektromágneses hullámokat egy test részben:

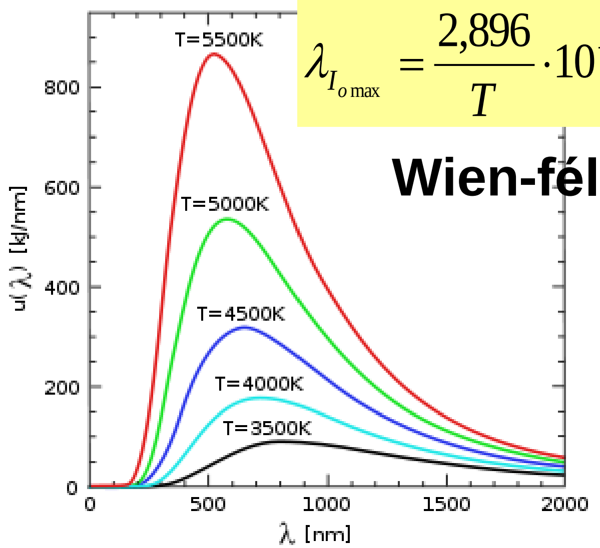
- átengedi (átengedési tényező D≤1),
- visszaveri (visszaverődési tényező R≤1),
- elnyeli (abszorpciós, elnyelési tényező a≤1).

a+R+D=1

Abszolút fekete test (a=1).

Planck törvény

$$I_{o\lambda} = \frac{3{,}74\cdot10^{-16}\cdot\lambda^{-5}}{e^{\frac{1{,}44\cdot10^{-2}}{\lambda\cdot T}}-1}\left[\frac{W}{m^3}\right]$$

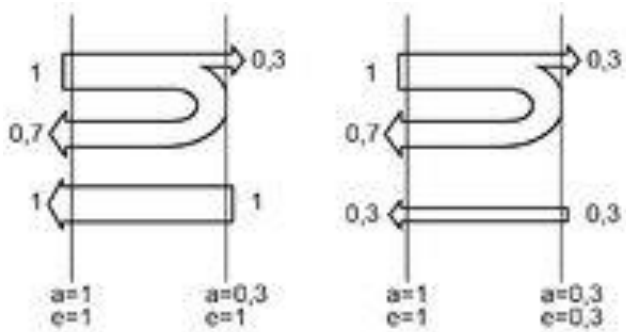


$$\lambda_{I_{o\max}} = \frac{2{,}896}{T}\cdot10^{-3}\,(m)$$

Wien-féle eltolódási törvény

Stefan-Boltzmann törvény

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



a) b)