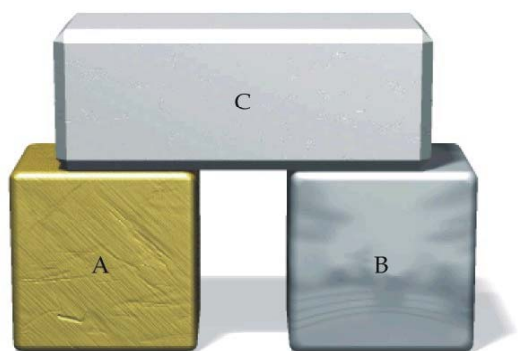
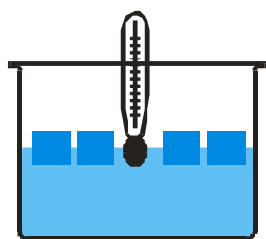


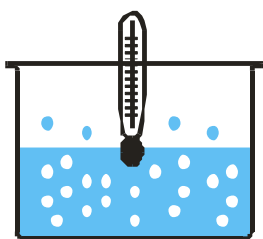
Principi zero de la termodinàmica



Si un cos A està en equilibri tèrmic amb un cos B , i aquest cos B està en equilibri tèrmic amb un cos C , llavors el cos A està en equilibri tèrmic amb el cos C .

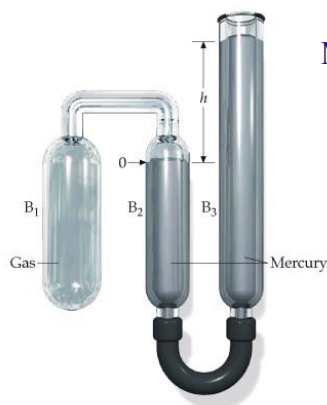


$T=0^{\circ}\text{C}$
Aigua amb gel



$T=100^{\circ}\text{C}$
Aigua en ebullició

Termòmetre de Gas

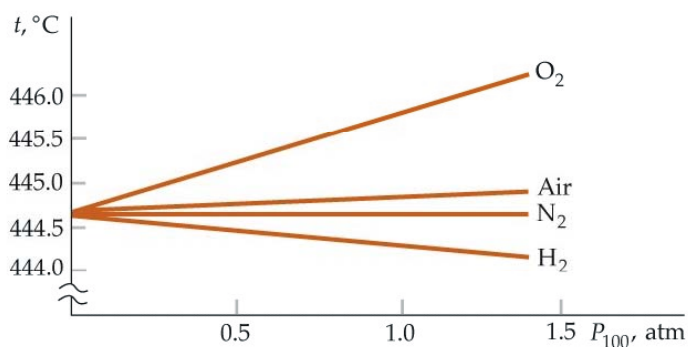


Mantenim el gas a volum constant i variem la pressió.

$$p = p_{\text{atm}} + \rho gh$$

Propietat termomètrica:

$$P \cdot V \propto T$$



Punt de fusió normal (PF), calor latent de fusió (L_f), punt d'ebullició normal (PE) i calor latent de vaporització (L_v) per diverses substàncies a 1 atm.

Substància	PF, K	L_f , kJ/kg	PE, K	L_v , kJ/kg
Aigua	273,15	333,5	373,15	2257
Alcohol etílic	159	109	351	879
Sofre	388	38,5	717,75	287
Brom	266	67,4	332	369
Coure	1356	205	2839	4726
Heli	-	-	4,2	21
Mercuri	234	11,3	630	296
Nitrogen	63	25,7	77,35	199
Or	1336	62,8	3081	1701
Oxigen	54,4	13,8	90,2	213
Plata	1234	105	2436	2323
Plom	600	24,7	2023	858
Zinc	692	102	1184	1768

Dilatació tèrmica



$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$$

α : coeficient de dilatació lineal $1/K$ ó $1/^\circ C$

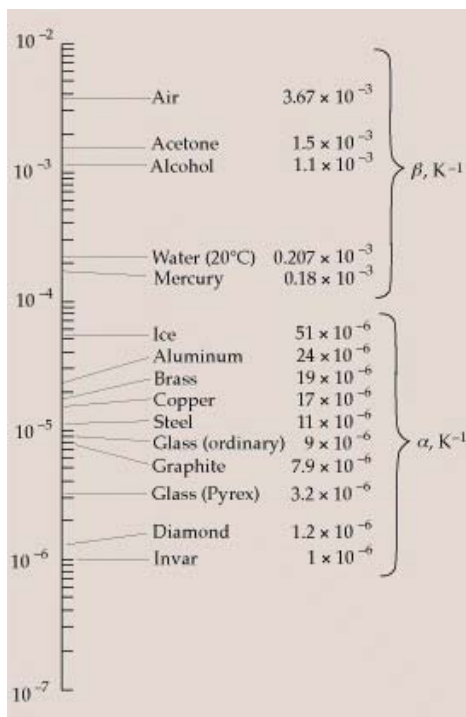
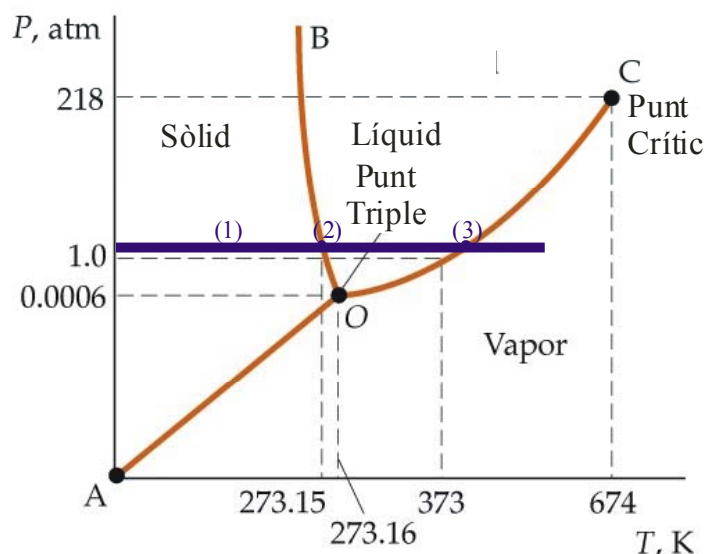


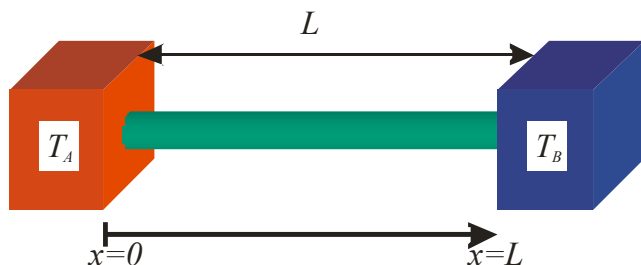
Diagrama de Fases

- (1) només sòlid
- (2) T ct fins fondre totalment la substància
- (2) $\rightarrow$ (3) líquid
- (3) T constant fins convertir tota la substància en vapor

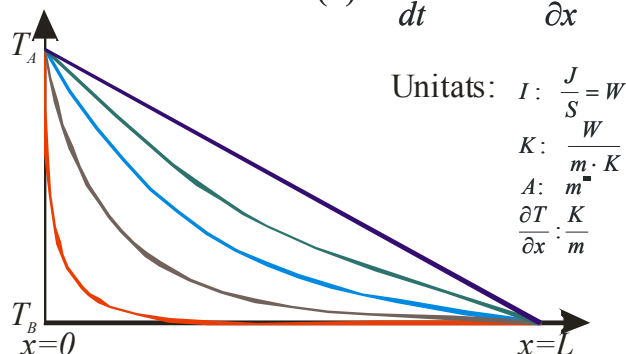


Línia OB, punt de fusió, limita sòlid-líquid
 Línia AO, punt de sublimació, limita sòlid-gas
 Línia OC, punt d'ebullició, limita líquid-gas

Conducció tèrmica



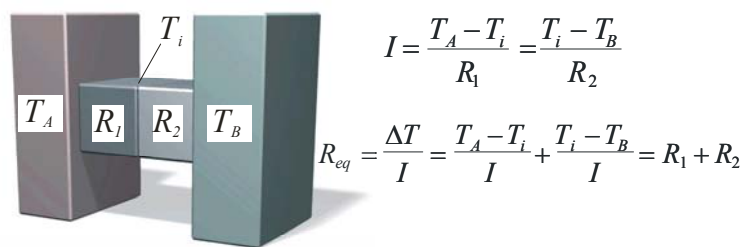
Llei de Fourier: $I(x) = \frac{dQ}{dt} = -KA \frac{\partial T}{\partial x}$



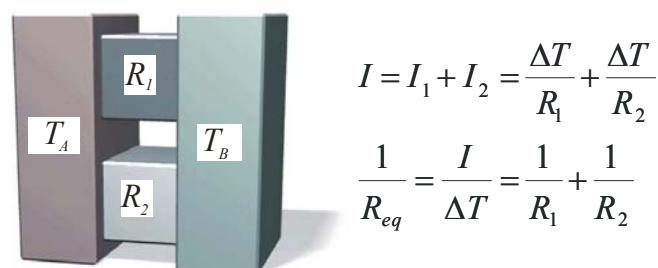
Resistència Tèrmica

$$I = \frac{\Delta T}{R}, \quad R = \frac{L}{K \cdot A} \quad \text{unitats: } \frac{K}{W}$$

Resistències en sèrie



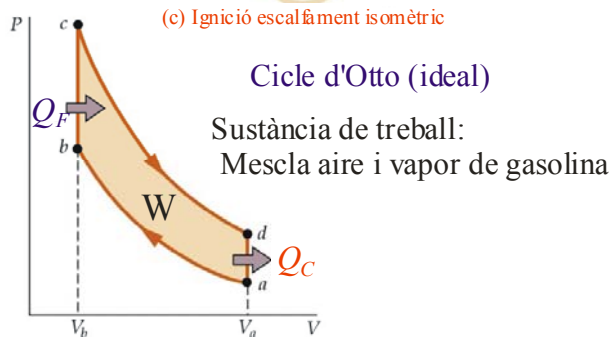
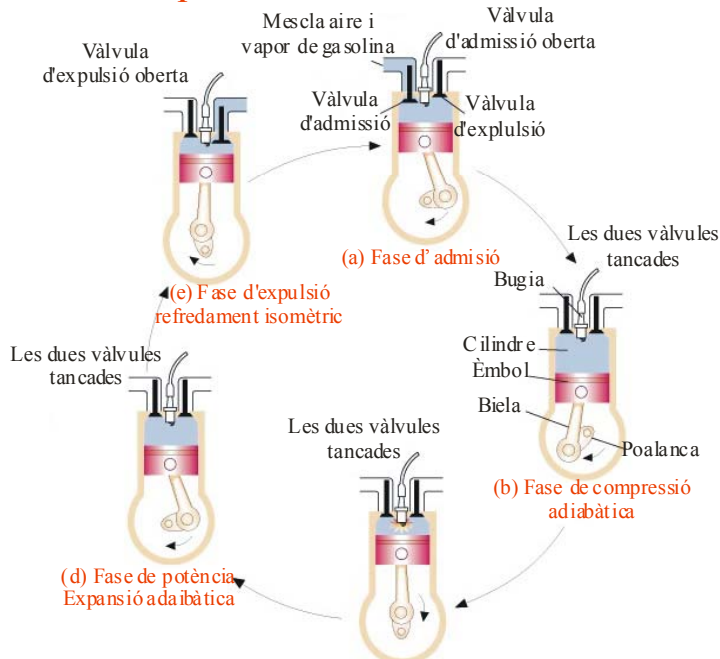
Resistències en paral·lel



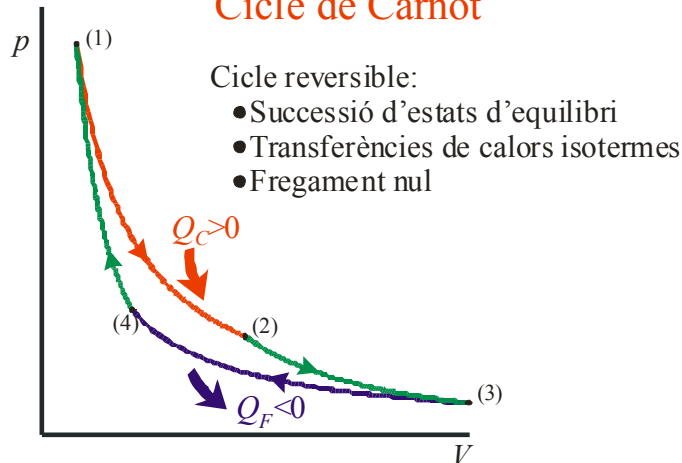
Règim estacionari: $\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_B - T_A}{L}$

$$I = -KA \frac{\Delta T}{L} = \frac{T_A - T_B}{R} \quad \text{on,} \quad R = \frac{L}{KA}$$

Màquina de combustió interna



Cicle de Carnot



$$1 \rightarrow 2 \text{ Isoterma, } T_1 = T_2 = T_C: Q_C = W_{1 \rightarrow 2} = nRT_C \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$2 \rightarrow 3 \text{ Adiabàtica } Q=0$$

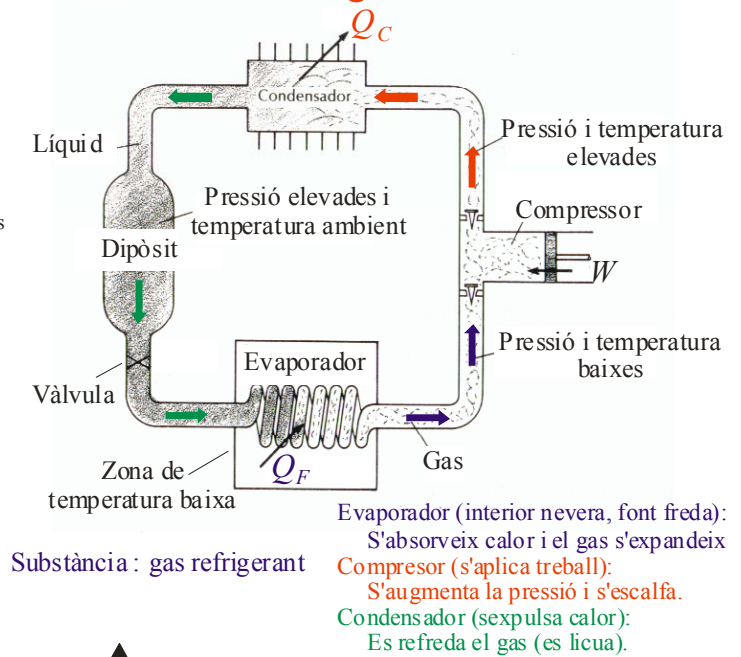
$$3 \rightarrow 4 \text{ Isoterma, } T_3 = T_4 = T_F: Q_F = W_{3 \rightarrow 4} = nRT_F \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$4 \rightarrow 1 \text{ Adiabàtica } Q=0$$

$$\eta = \frac{W}{Q_C} = \frac{Q_C + Q_F}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C} = 1 + \frac{nRT_F \ln \frac{V_4}{V_3}}{nRT_C \ln \frac{V_2}{V_1}} = 1 - \frac{T_F \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_C \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\eta = 1 + \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Refrigerador



Segon principi de la termodinàmica

Enunciat de Carnot:

Cap màquina tèrmica que treballi entre dos fonts tèrmiques (T_C, T_F) pot tenir un rendiment superior al d'una màquina reversible que treballi entre les mateixes fonts.

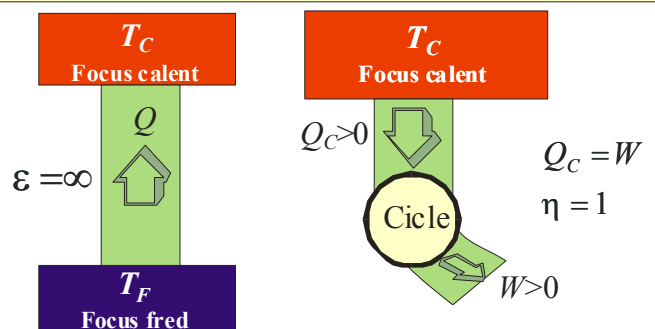
$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Enunciat de Clausius:

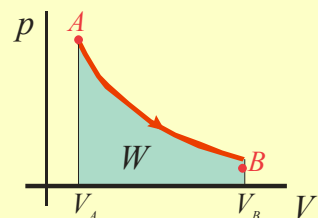
No és possible cap procés que tingui com a únic resultat l'extracció de calor d'una font tèrmica (T_F) i l'absorció d'igual quantitat de calor d'una font tèrmica (T_C) a temperatura superior.

Enunciat de Kelvin-Planck:

No és possible cap procés cíclic que tingui com a únic resultat l'extracció de calor d'una font tèrmica (T_C) i la producció d'igual quantitat de treball.



Procés isoterm: $T=ct$



Relació

$$T_A = T_B = ct$$

$$p_A V_A = p_B V_B$$

$W_{A \rightarrow B}$

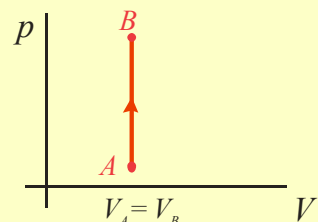
$$nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = p_A V_A \ln \frac{V_B}{V_A}$$

$Q_{A \rightarrow B}$

$$nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = p_A V_A \ln \frac{V_B}{V_A} \quad 0$$

$\Delta U_{A \rightarrow B}$

Procés isomètric: $V=ct$



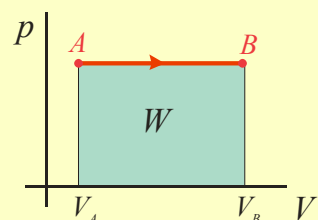
$$V_A = V_B = ct$$

$$0$$

$$C_V (T_B - T_A)$$

$$C_V (T_B - T_A)$$

Procés isobar: $p=ct$



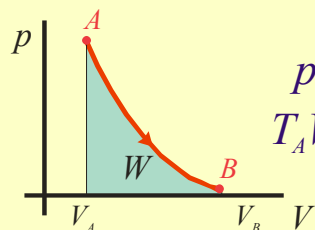
$$p_A = p_B = ct$$

$$p_A (V_B - V_A) = p_B (V_B - V_A)$$

$$C_p (T_B - T_A)$$

$$C_V (T_B - T_A)$$

Procés adiabàtic: $Q=0$



$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma = ct$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} = ct$$

$$-C_V (T_B - T_A) = \frac{p_B V_B - p_A V_A}{1 - \gamma}$$

$$0$$

$$C_V (T_B - T_A)$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

$$C_p = nR + C_V$$

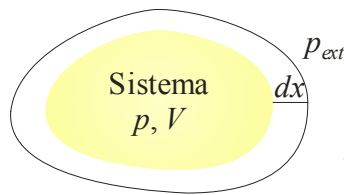
$$C_V = \frac{3}{2} nR$$

monoatòmic

$$C_V = \frac{5}{2} nR$$

diatòmic

Treball fet pel gas ideal

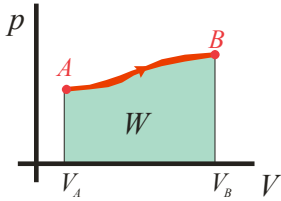


Expansió: $V \rightarrow V + dV$

$$p \geq p_{ext}$$

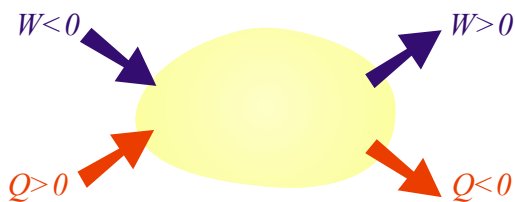
$$dW = Fdx = p_{ext}A dx = p_{ext}dV$$

Proces reversible ; $p_{ext}=p \Rightarrow dW = pdV$



$$W = \int_A^B p dV$$

Conveni de signes:



Treball fet pel sistema (expansió) > 0

Treball fet sobre el sistema (compressió) < 0

Calor aportada pel sistema (perduda pel sistema) < 0

Calor cedida al sistema (absorbida pel sistema) > 0

Experiència de Joule

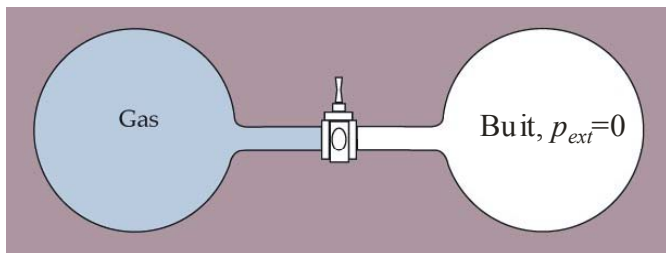
Expansió lliure adiabàtica:

Procés Irreversible.

$$p_{ext}=0 \Rightarrow W=0$$

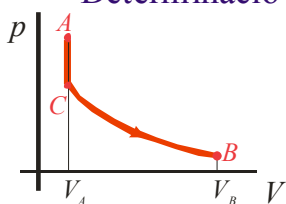
Sistema aïllat tèrmicament $Q=0$

$$\Rightarrow \Delta U=0$$



S'observa que $\Delta T=0 \Rightarrow$ llavors en un gas ideal U només depèn de T

Determinació ΔU per un gas ideal



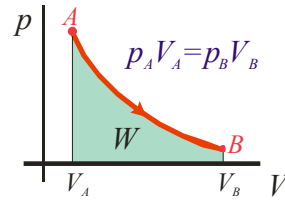
$A \rightarrow C$ isomètric $V_A = V_C$
 $C \rightarrow B$ isotèrmic $T_C = T_B$

$$\Delta U = \Delta U_{A \rightarrow C} + \Delta U_{C \rightarrow B} = Q_{A \rightarrow C} - W_{C \rightarrow B} = C_V \Delta T$$

$$\Delta U = C_V \Delta T \quad \text{ó} \quad dU = C_V dT$$

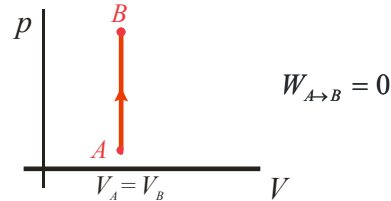
Treball fet pel gas ideal

Procés isoterm: $T=ct$

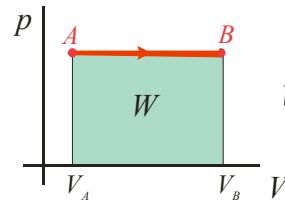


$$W_{A \rightarrow B} = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = p_A V_A \ln \frac{V_B}{V_A} = p_B V_B \ln \frac{V_B}{V_A}$$

Procés isomètric: $V=ct \Leftrightarrow dV=0$

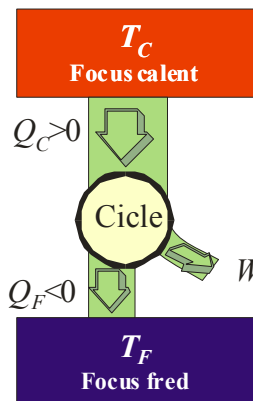


Procés isobar: $p=ct$



$$W_{A \rightarrow B} = p_A (V_B - V_A) = p_B (V_B - V_A)$$

Motor tèrmic

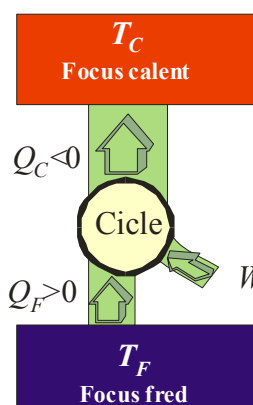


Rendiment:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q_C + Q_F - W = 0$$

$$\eta = \frac{W}{Q_C} = \frac{Q_C + Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$

Refrigerador i bomba de calor



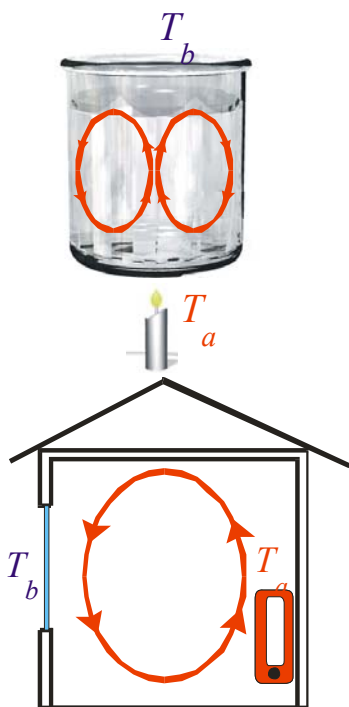
Eficiència refrigerador:

$$\varepsilon = \frac{Q_F}{|W|} = \frac{Q_F}{|Q_C| - Q_F} > 1$$

Eficiència bomba de calor:

$$\varepsilon = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_C| - Q_F} > 1$$

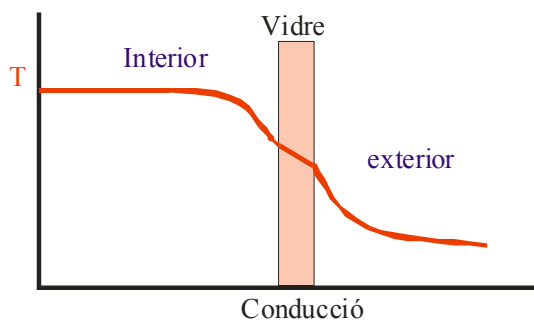
Convecció



Llei de Newton: $I = qA\Delta T$

q , factor de transmissió per convecció: $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

Temperatura efectiva



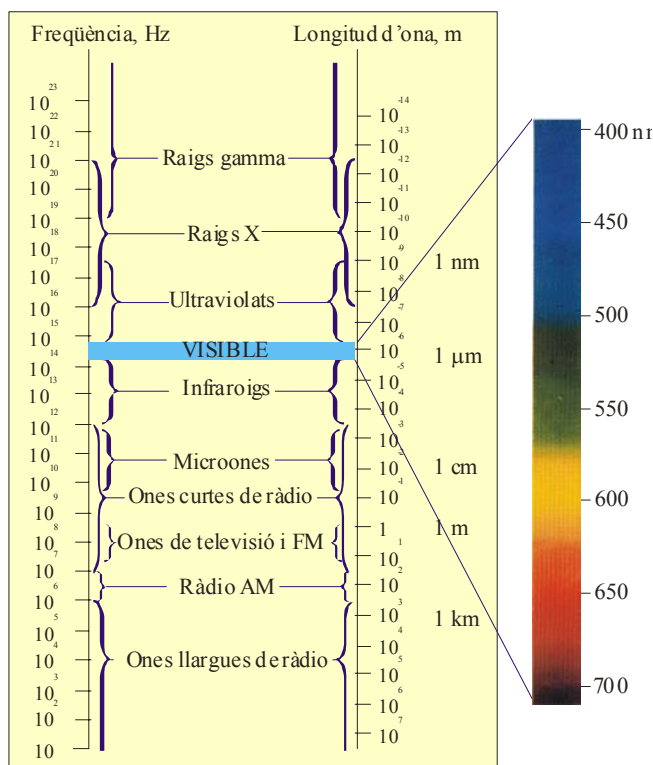
Correcció de la llei de Newton:

$$I = qA \cdot (T_a - T_e)$$

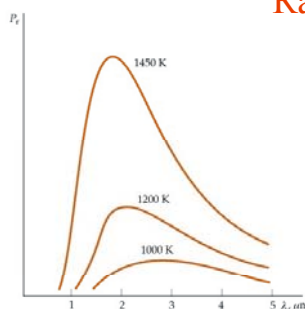
T_e , Temperatura efectiva:

Velocitat del vent (km/h)	T (°C)			
0	-10	-20	-30	} efectiva
10	-15	-25	-35	
20	-20	-35	-45	
30	-25	-40	-50	

Espectre Electromagnètic



Radiació



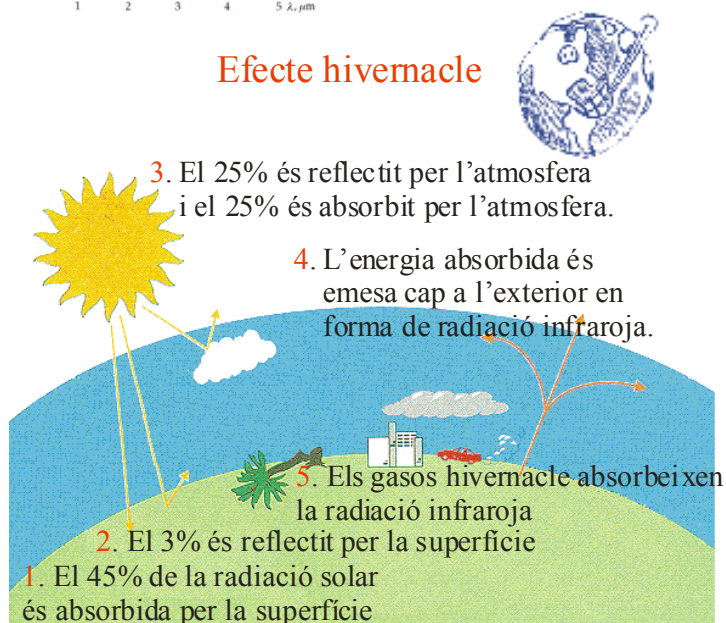
Llei de Wien

$$\lambda_{max} = \frac{B}{T}, \quad B = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot K$$

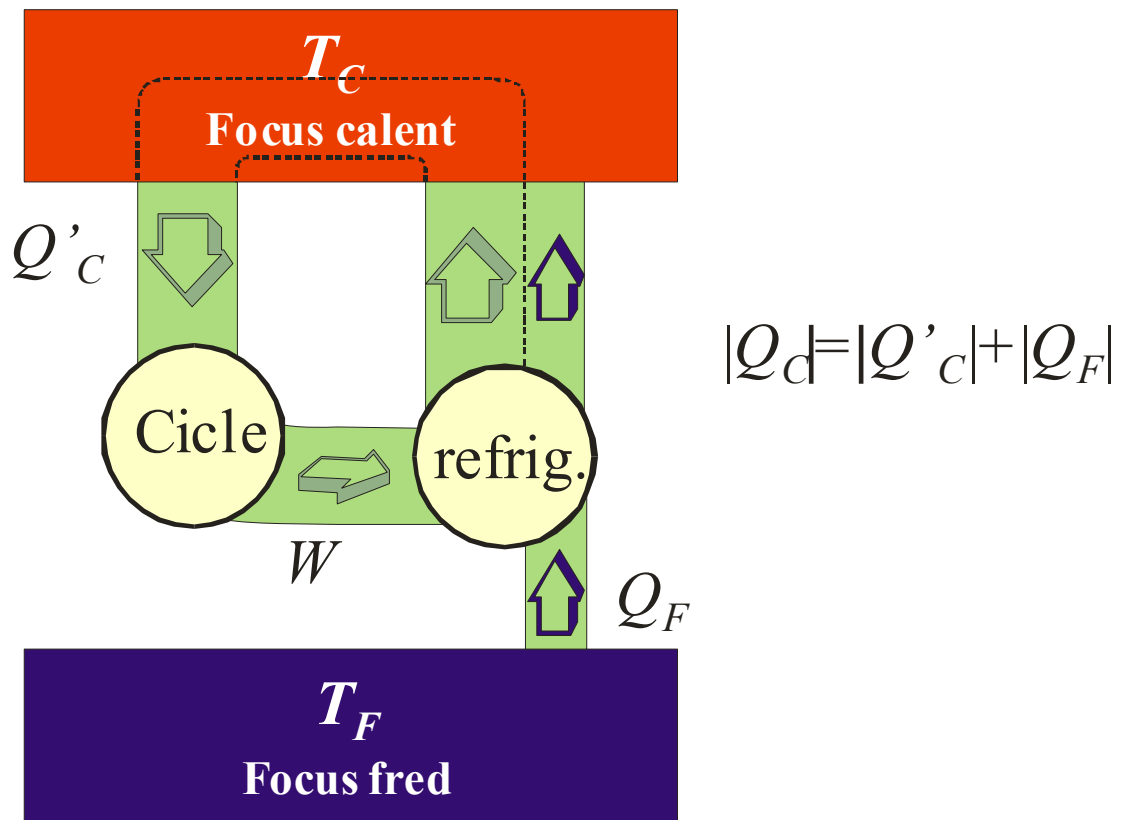
Llei de Stefan

$$I = \epsilon \sigma A T^4, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K}$$

Efecte hivernacle



No Kelvin $\implies$ No Clausius



No Clausius $\implies$ No Kelvin

