



# TRANSPARÈNCIES OSCIL·LACIONS, ONES I TERMODINÀMICA

## MÒDUL 3: TERMODINÀMICA

Algunes figures han estat cedides per:

- W.H. Freeman/Worth: "Física, 4a. Ed.", P.A. Tipler, Ed. Reverté
- Física con ordenador (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>)  
(C) Angel Franco García. Universidad del País Vasco





# TEMA 1: Temperatura

---

1. Concepte macroscòpic de temperatura
2. Concepte microscòpic de temperatura
3. Dilatació tèrmica
4. Mesura de la temperatura

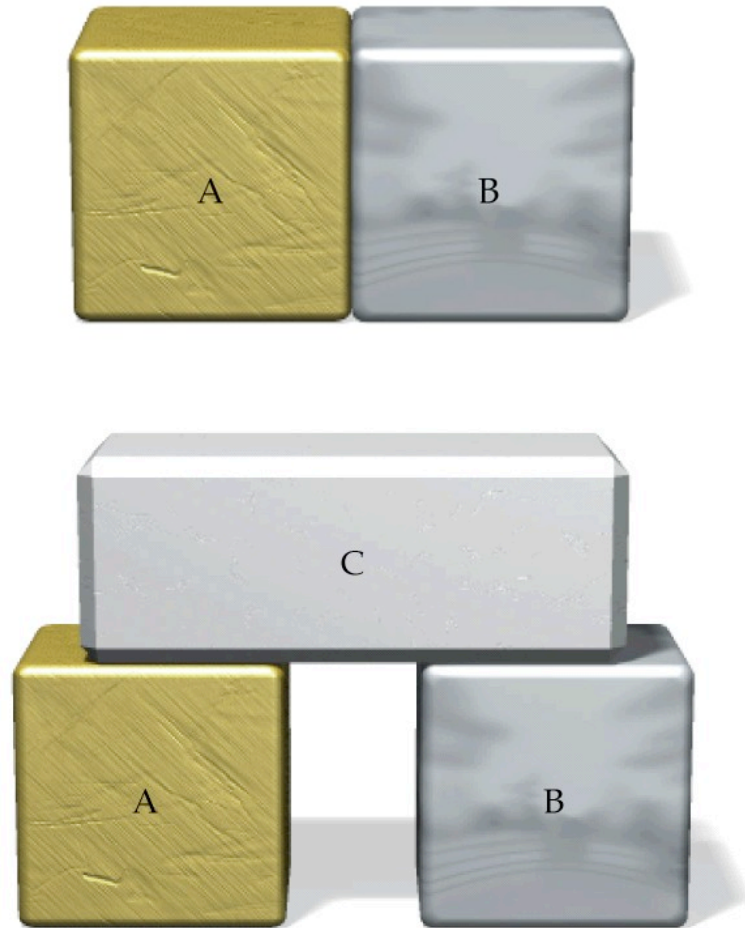


# 1.1. Principi zero de la Termodinàmica

Contacte tèrmic



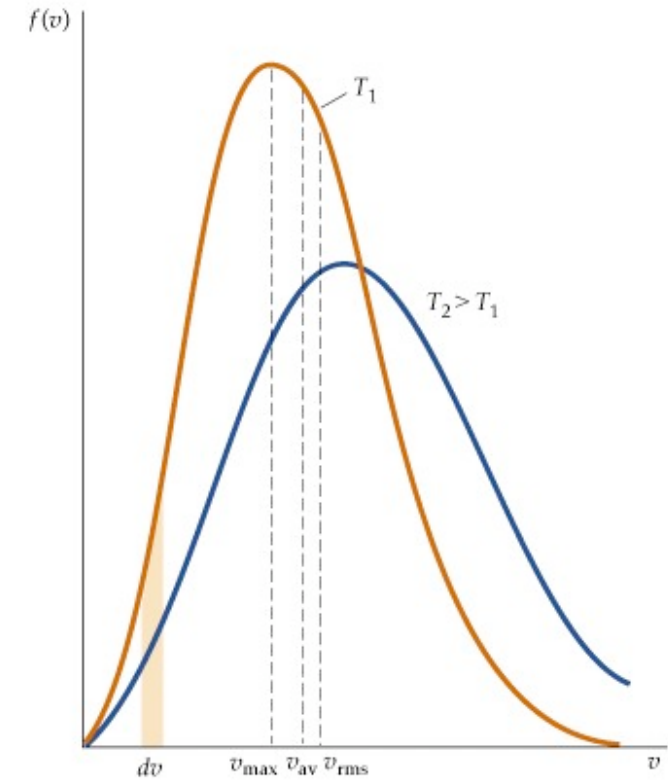
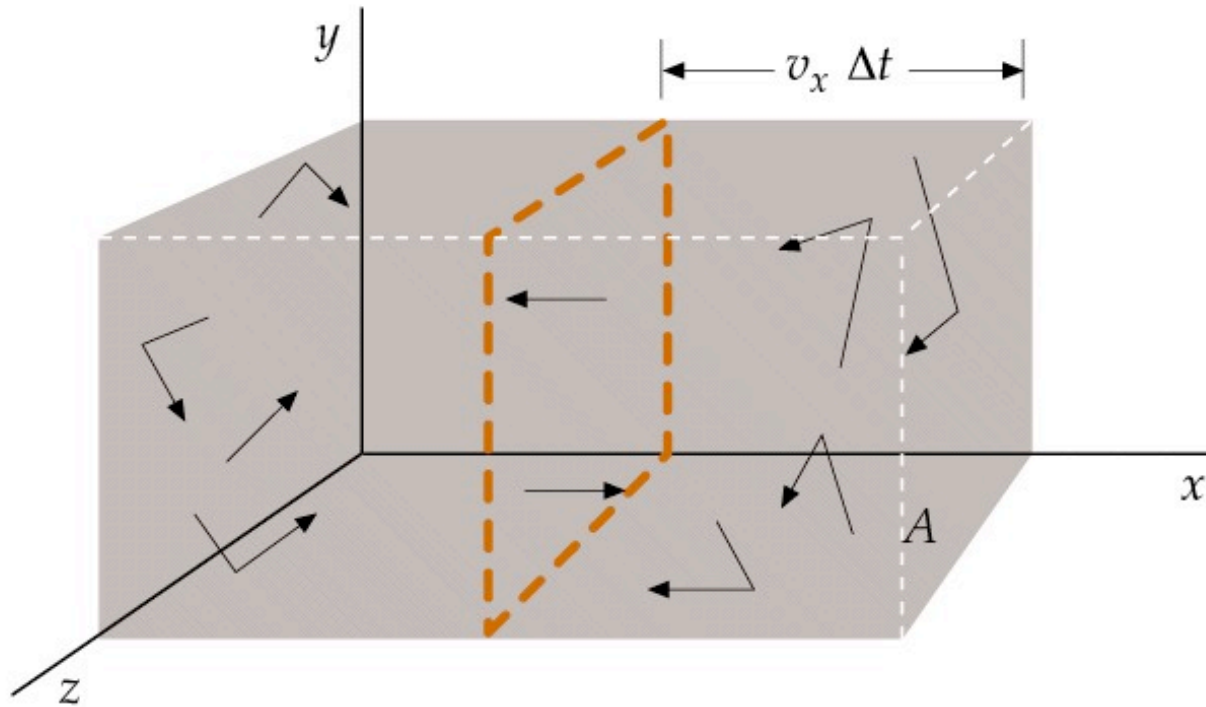
Equilibri tèrmic



Oscil·lacions, ones i termodinàmica



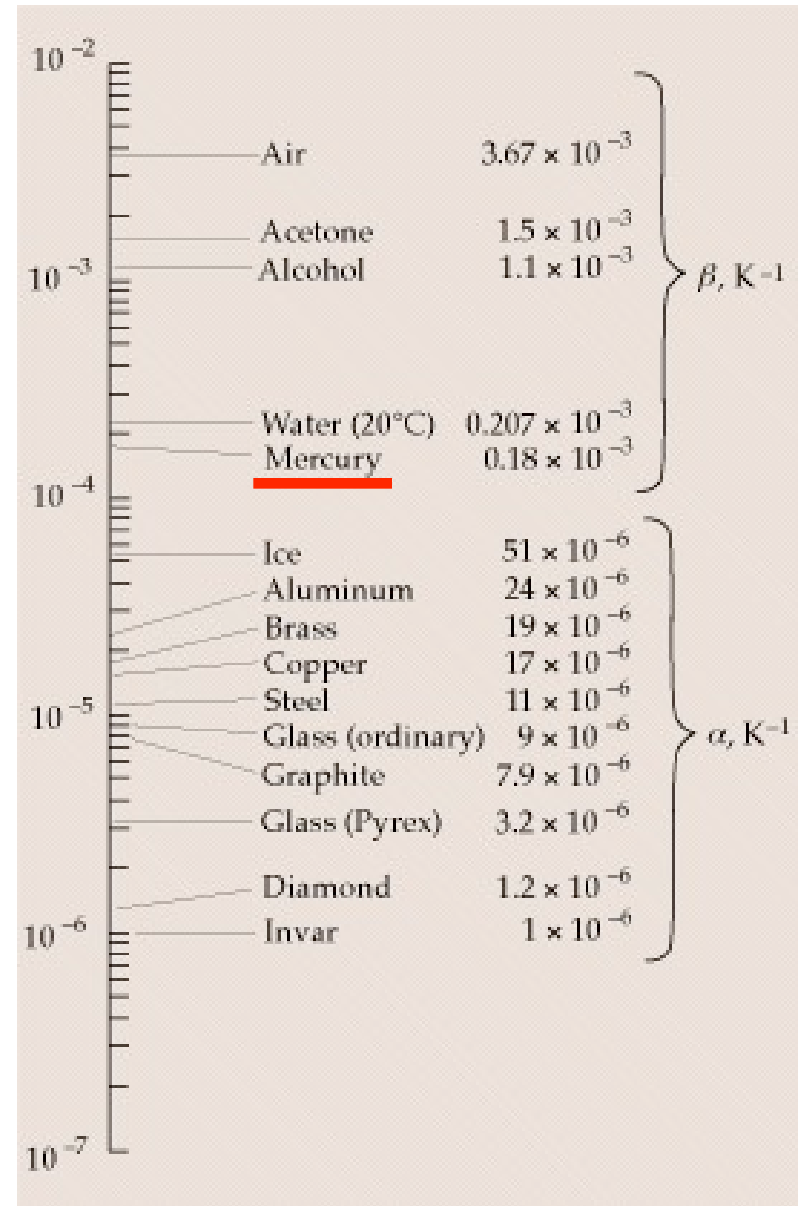
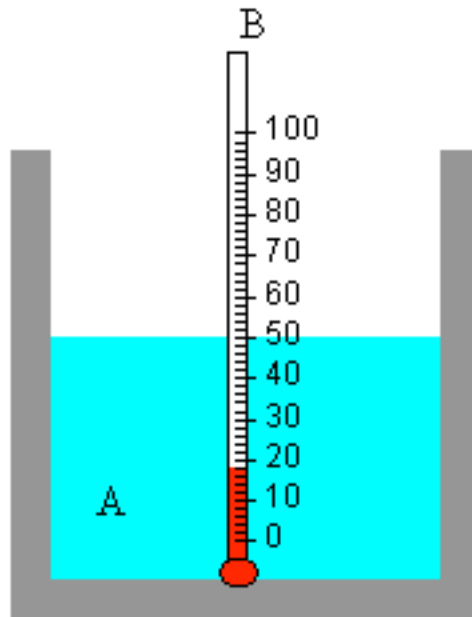
## 1.2. Interpretació microscòpica de la temperatura



$$\langle E_c \rangle = \left\langle \frac{1}{2} m v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} k T$$

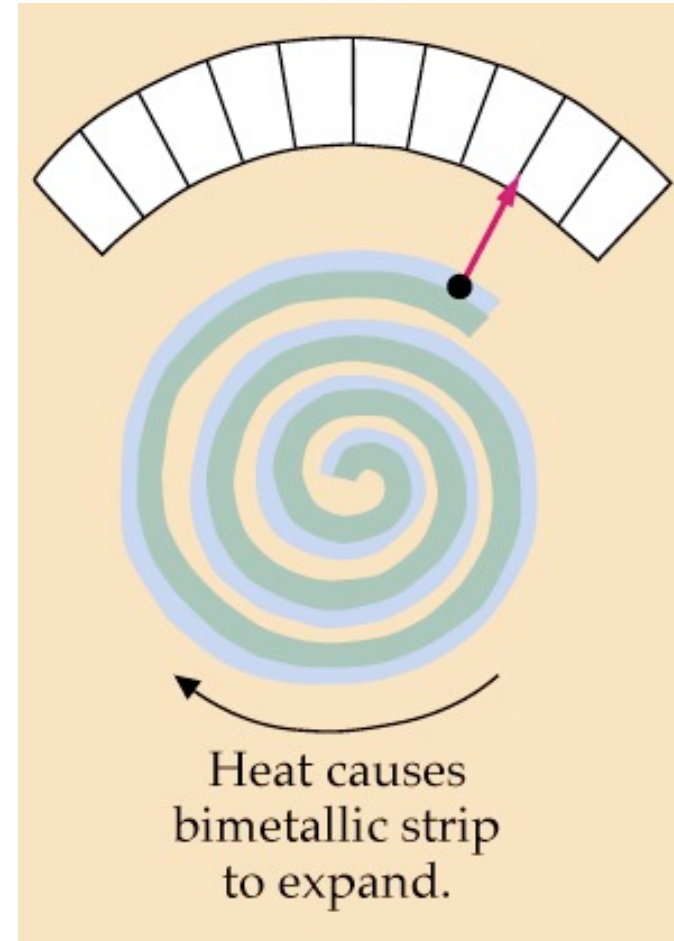


# 1.3. Dilatació tèrmica



# 1.4. Propietats termomètriques

Cinta bimetàl.lica:



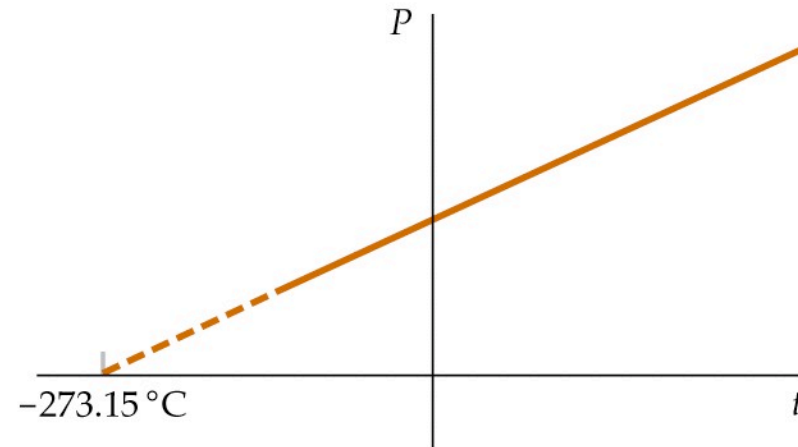
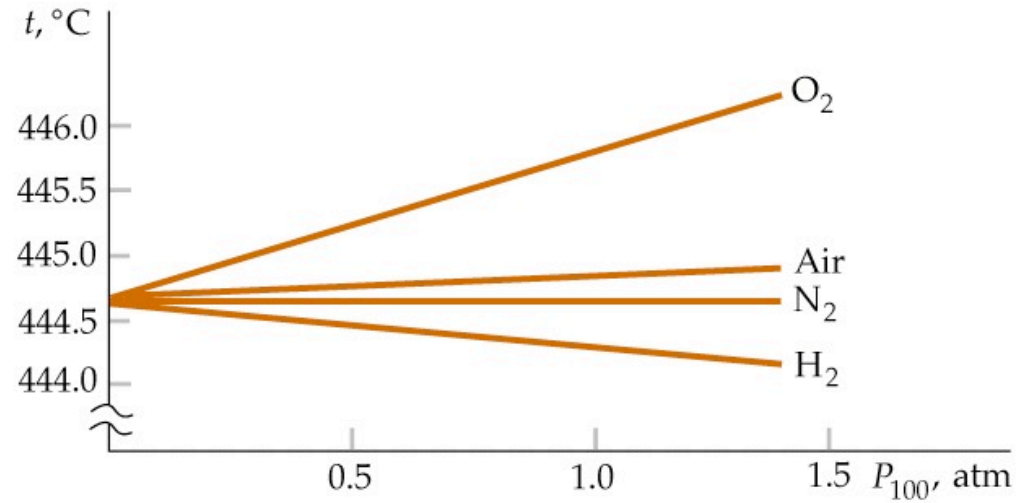
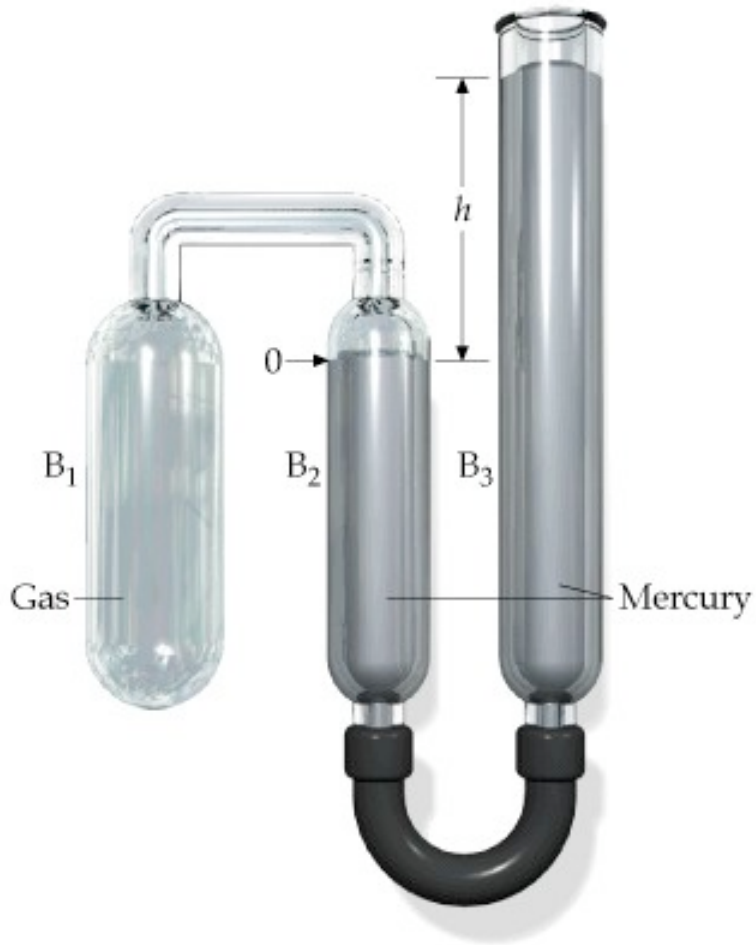
Oscil.lacions, ones i termodinàmica



Departament de Física  
i Enginyeria Nuclear

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# 1.4. Termòmetre de gas a volum constant





# TEMA 2: Calor i canvis d'estat

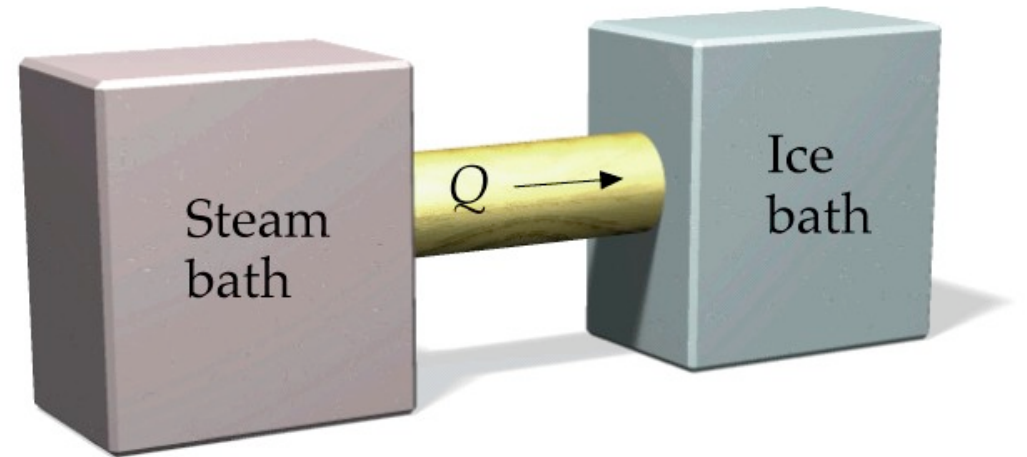
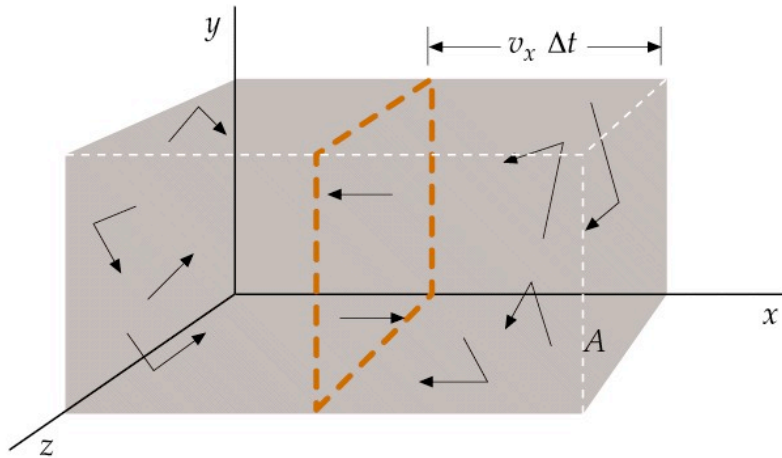
---

1. Calor i calor específica
2. Transferència de calor
3. Gasos ideals
4. Gasos reals
5. Canvis d'estat i calors latents

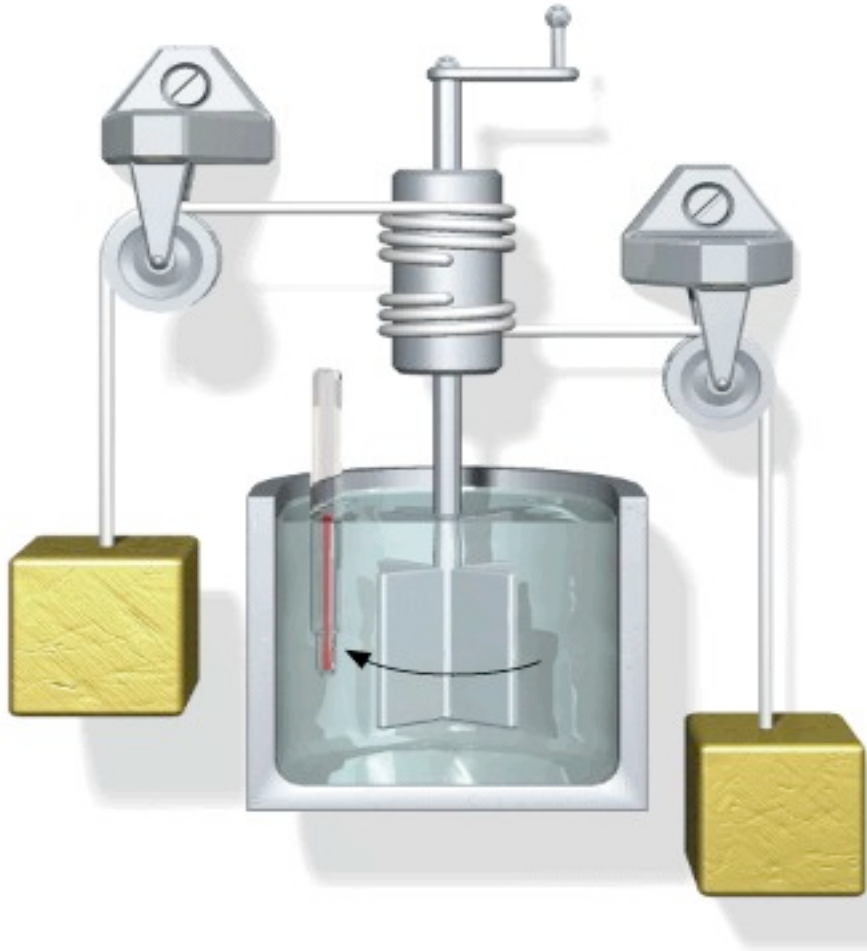




## 2.1. La calor com a forma d'energia



## 2.1. L'experiment de Joule

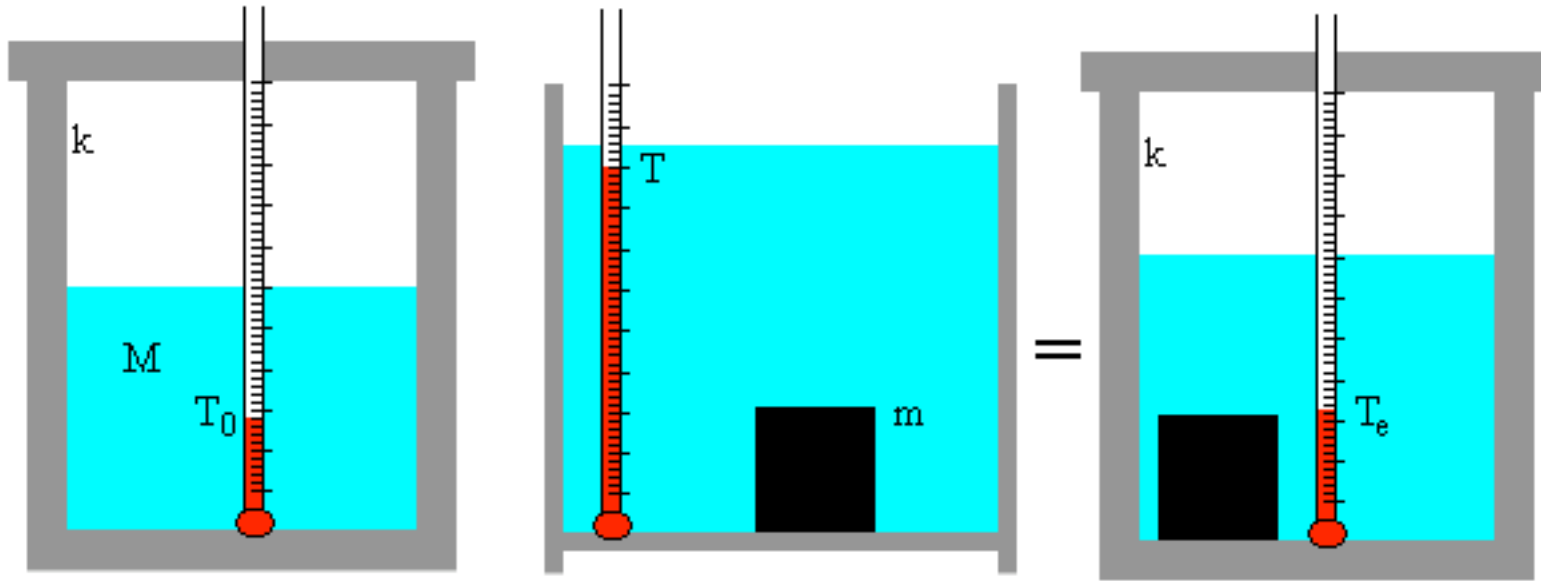


$$Q = mc \Delta t$$

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$$



## 2.1. Calorimetria



- Calor absorbida per l'aigua:

$$Q_{\text{abs}} = Mc_a(T_e - T_0) + E > 0$$

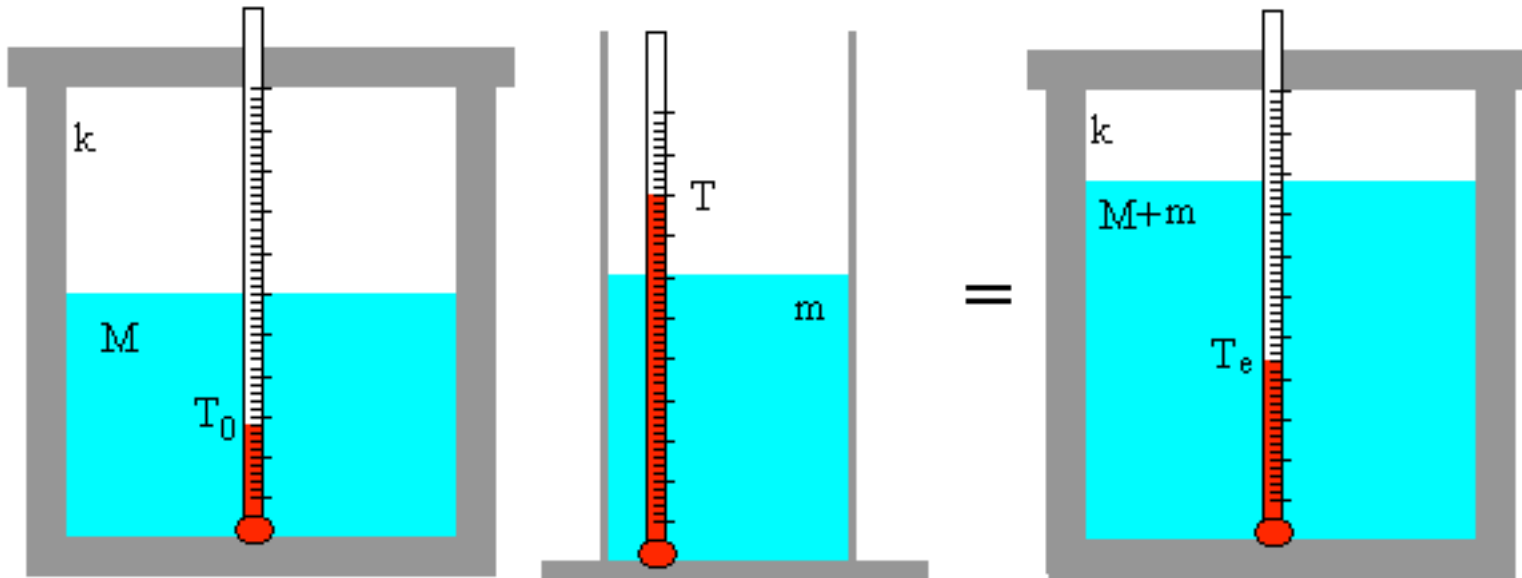
- Calor cedida pel cos:

$$Q_{\text{ced}} = Mc_{\text{cos}}(T_e - T) < 0$$

$$Q_{\text{abs}} + Q_{\text{ced}} = 0$$

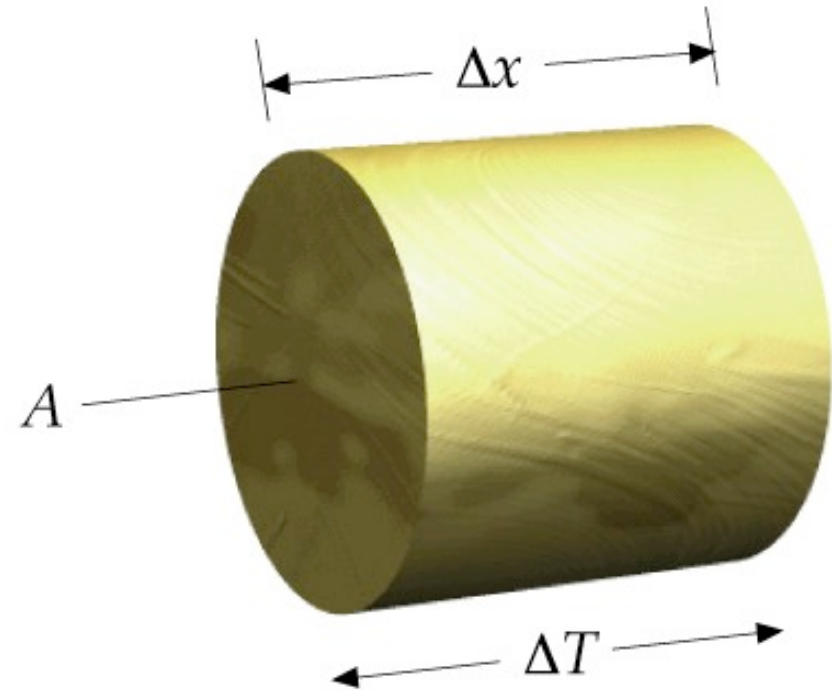
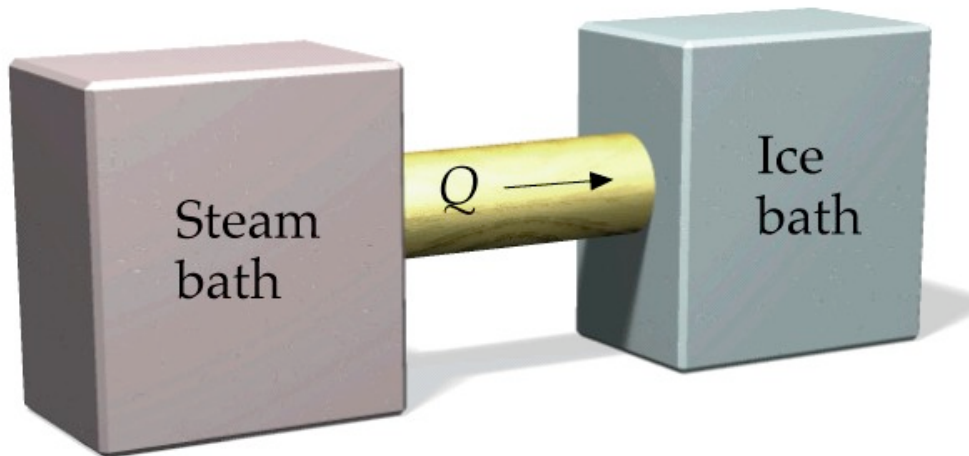


## 2.1. Determinació de l'equivalent en aigua



$$M c_a (T_e - T_0) + E + m c_a (T_e - T) = 0$$

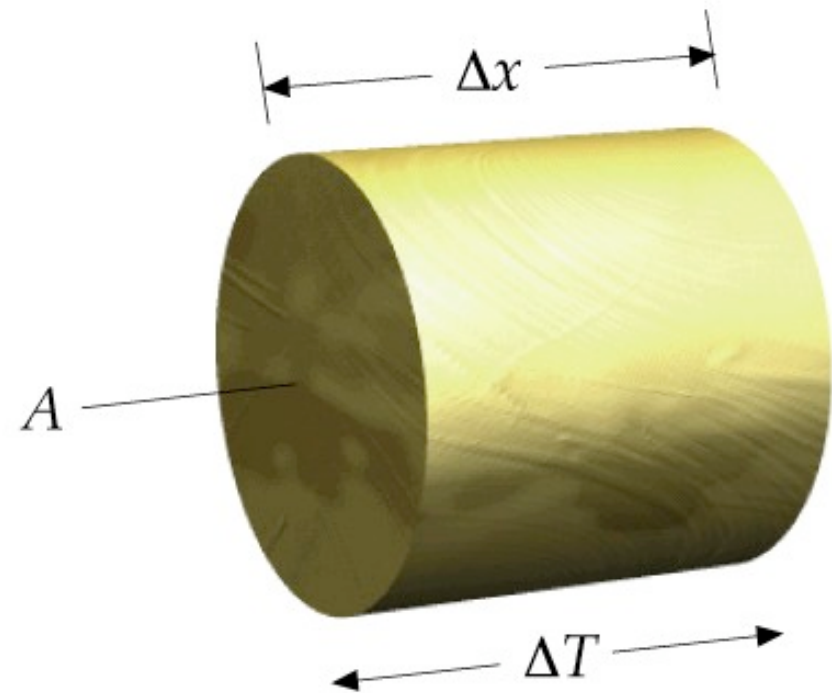
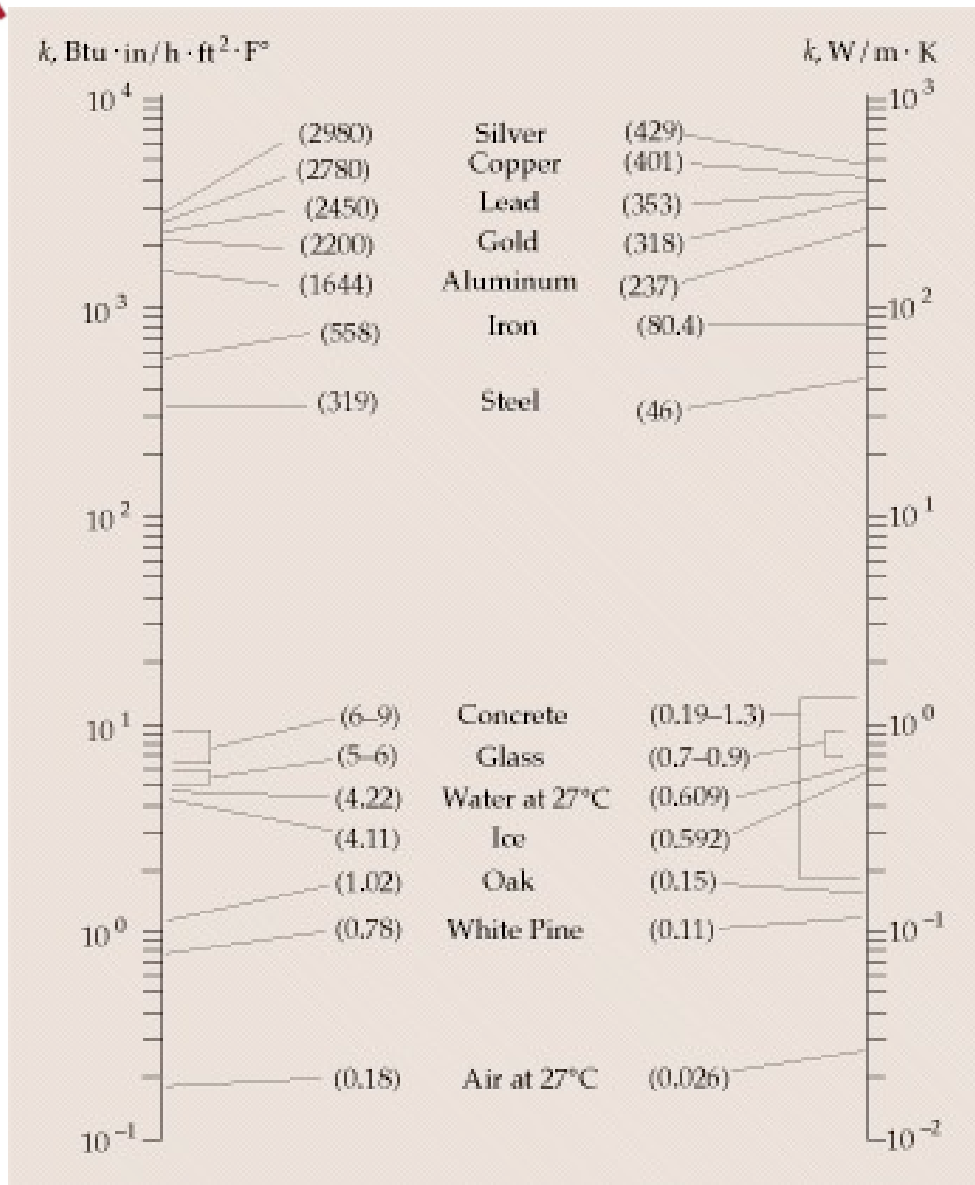
## 2.2. Transferència de calor per conducció (I)



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



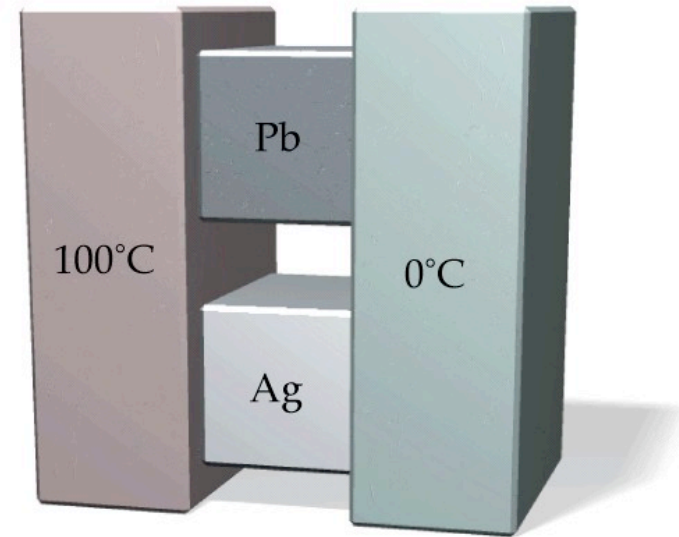
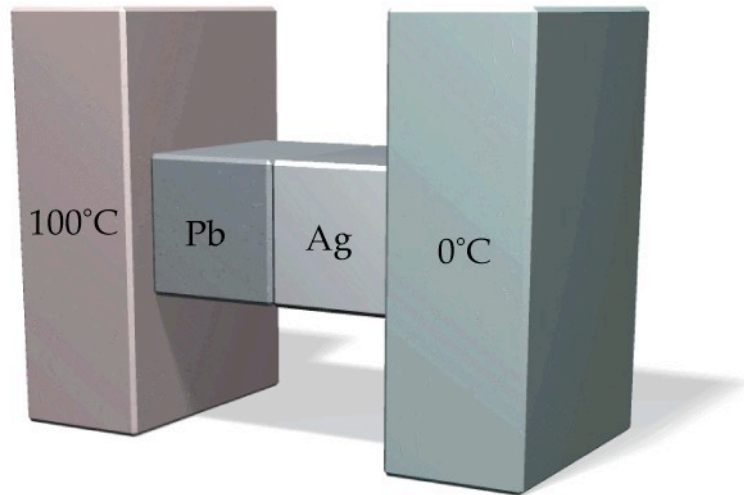
## 2.2. Transferència de calor per conducció (II)



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

## 2.2. Resistència tèrmica

$$R = \frac{\Delta x}{kA}$$



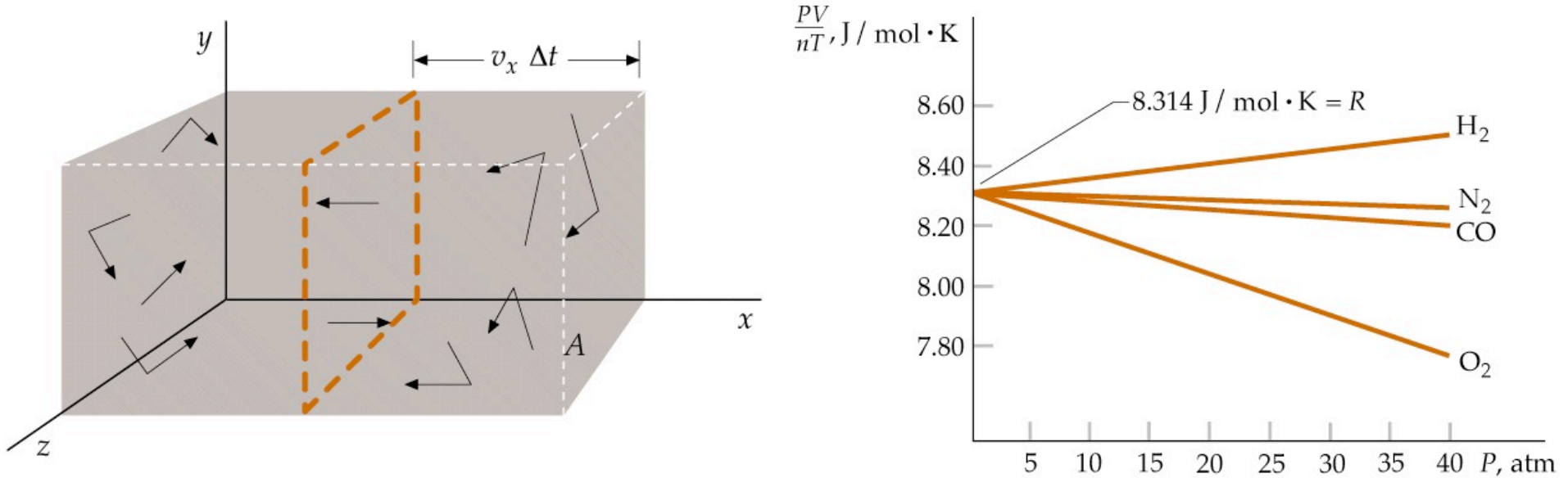
$$R_{\text{serie}} = R_1 + R_2$$

$$\frac{1}{R_{\text{paral.lel}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



## 2.3. Gas ideal

- Variables d'estat d'un gas:  $P$ ,  $V$ ,  $T$



- Gas ideal: molècules puntuals sense interacció
- Equació d'estat d'un gas ideal:

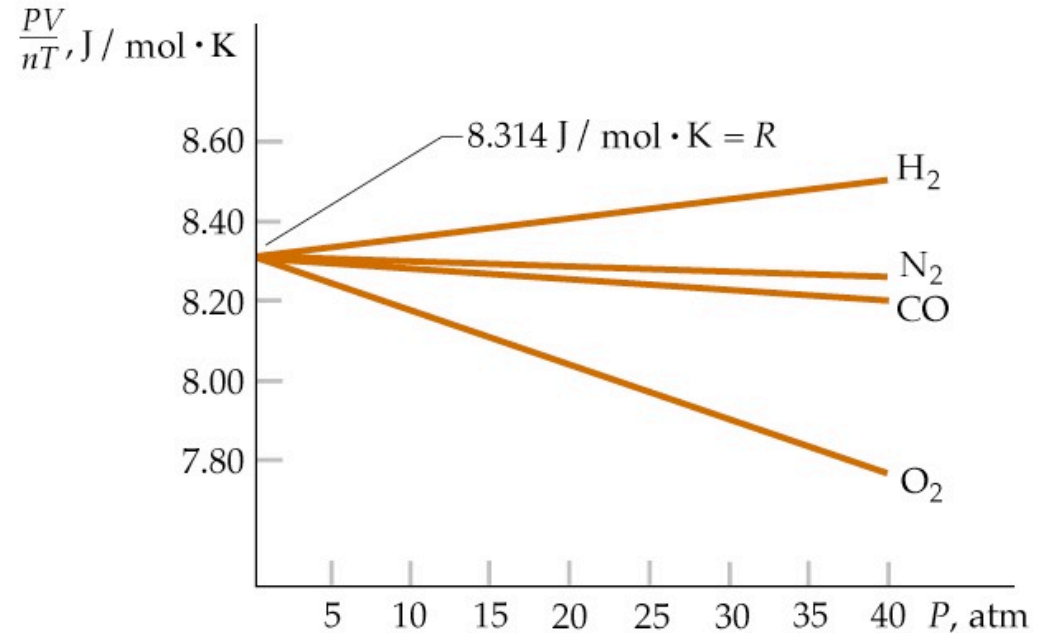
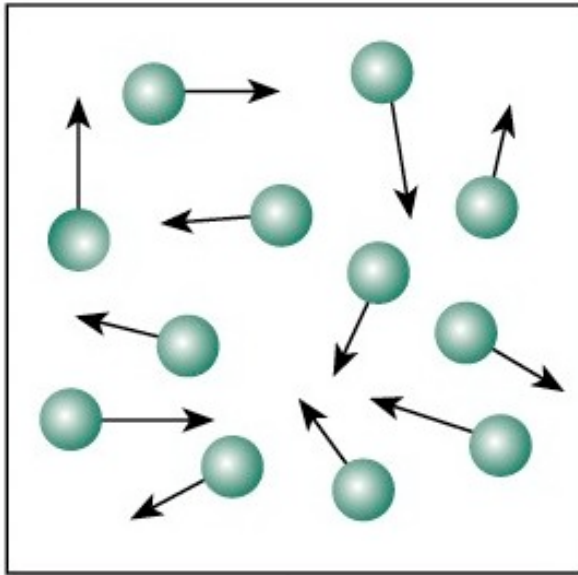
$$PV = nRT$$





## 2.4. Gasos reals (I)

- Gas real: molècules amb tamany finit i amb interacció



- Equació de Van der Waals per a un gas "real":

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right) (V - bn) = nRT$$



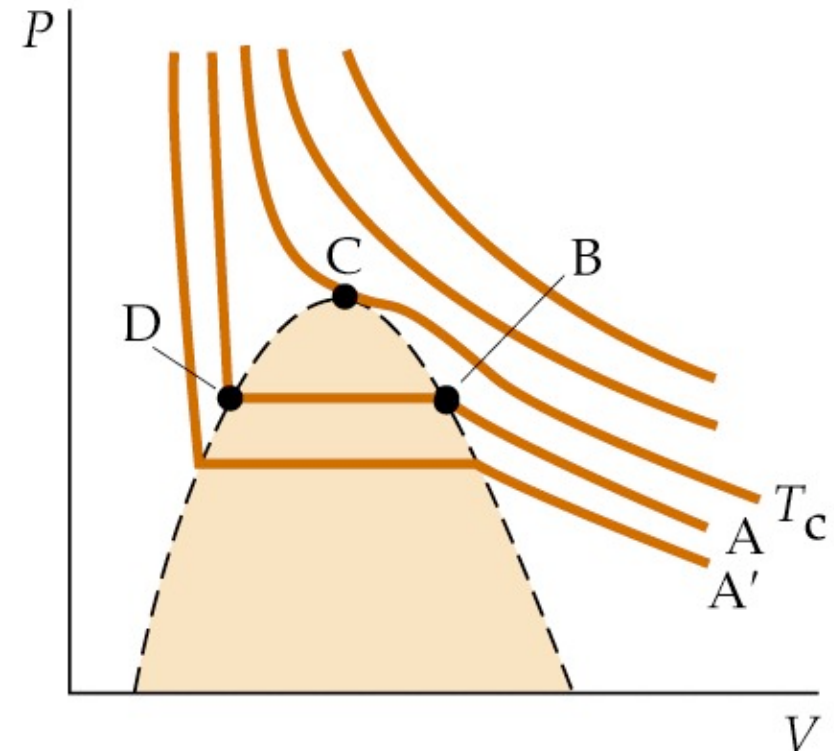
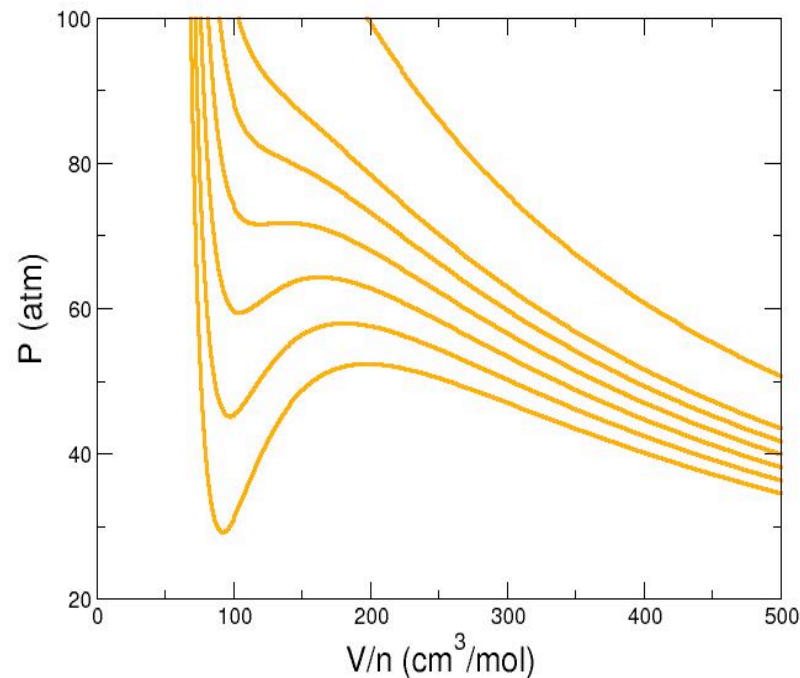
## 2.4. Gasos reals (II)

- Isotermes pel diòxid de carboni

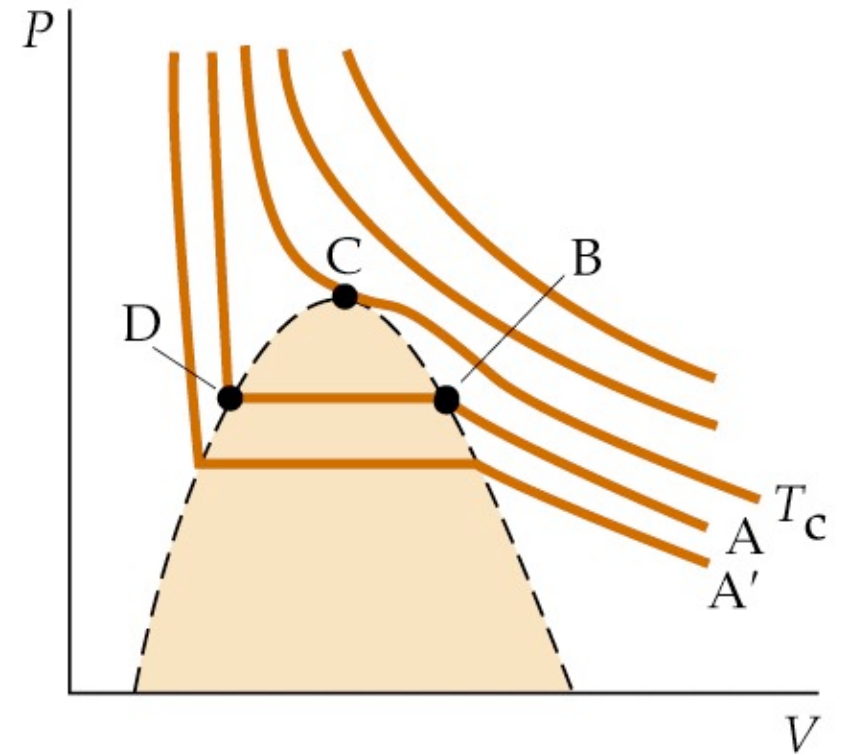
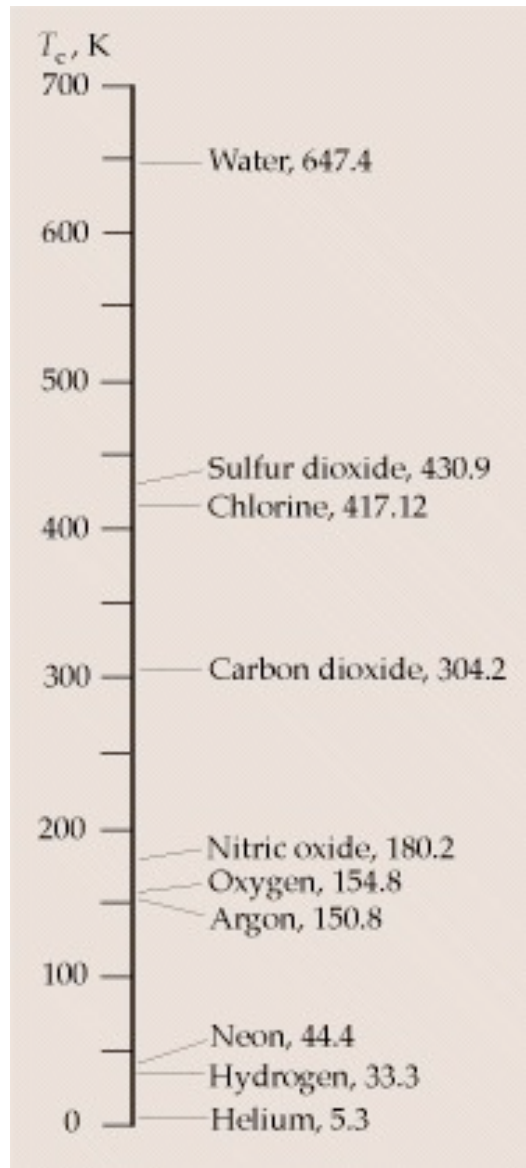
$$a=3.6 \text{ atm l}^2/\text{mol}^2$$

$$b=0.04275 \text{ l/mol}$$

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right) (V - bn) = nRT$$

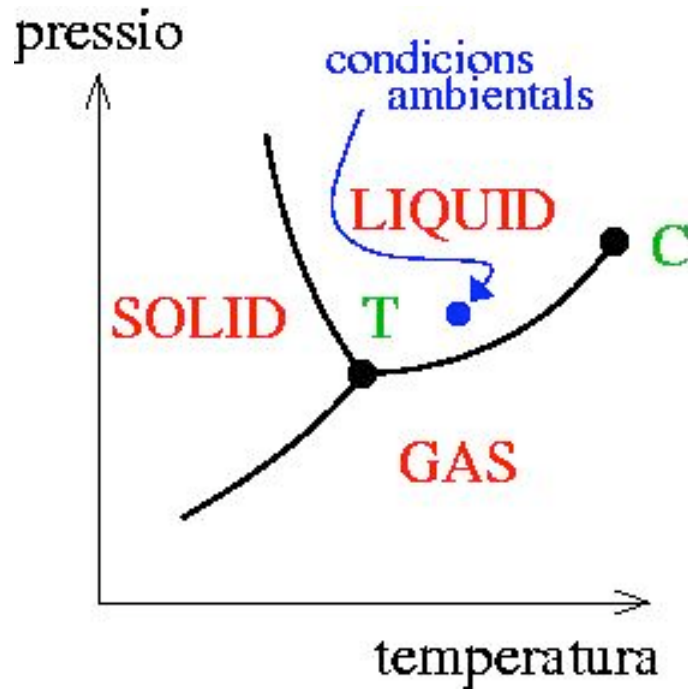


## 2.4. Gasos reals (III)



Oscil.lacions, ones i termodinàmica

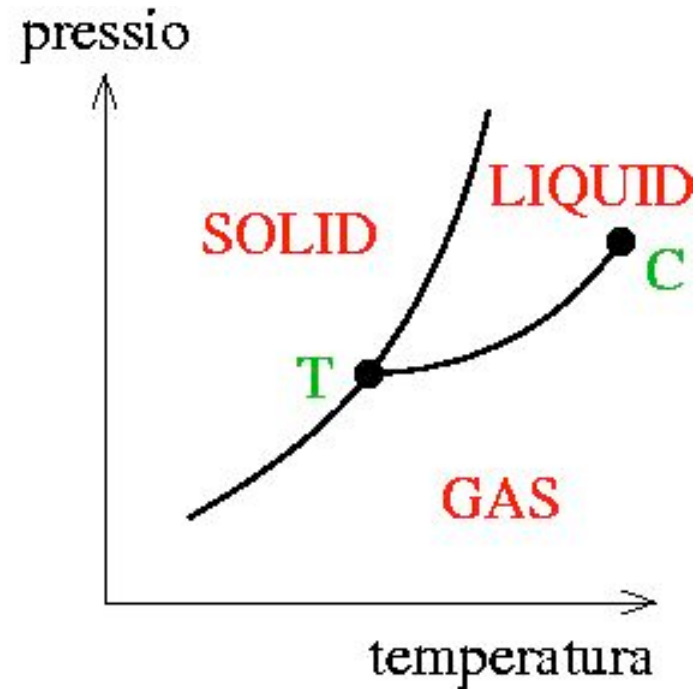
## 2.4. Diagrames de fase



AIGUA

$$T_C = 674 \text{ K}, P_C = 218.3 \text{ atm}$$

$$T_t = 273.16 \text{ K}, P_t = 4.58 \text{ mm Hg}$$



ALTRES SUBSTÀNCIES





# TEMA 3: Primer Principi de la Termodinàmica

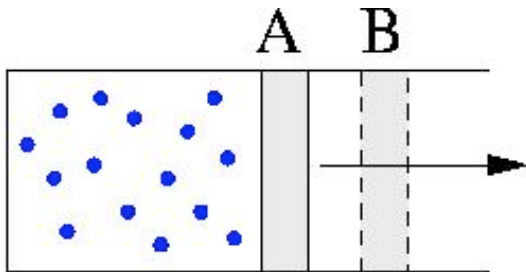
---

1. Processos termodinàmics
2. Energia interna i treball. Primer principi
3. Calors molars
4. Cicles
5. Màquines tèrmiques i frigorífiques



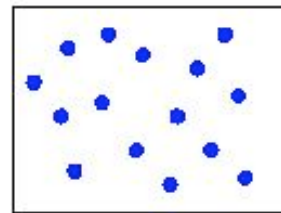
# 3.1. Processos termodinàmics

- Equilibri termodinàmic: equilibri mecànic, químic i tèrmic
- Procés termodinàmic: transformació entre estats d'equilibri

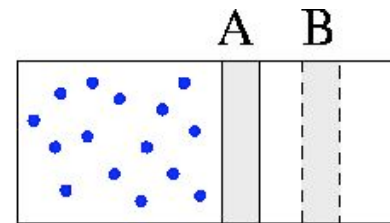


- Processos bàsics:

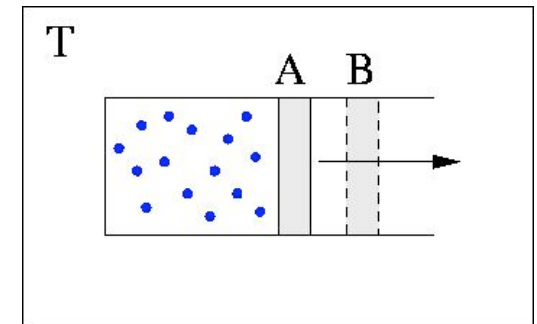
**ISOCOR**



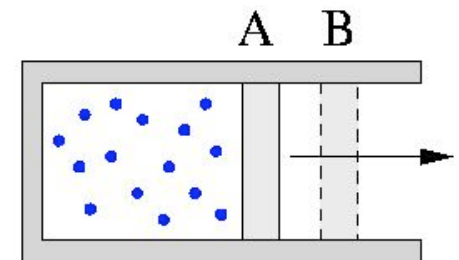
**ISOBAR**



**ISOTERM**



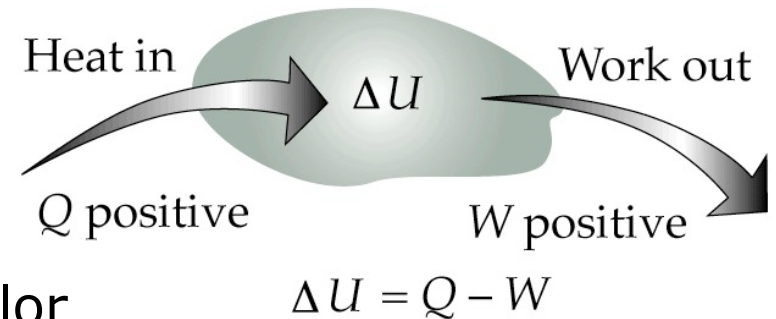
**ADIABÀTIC**



## 3.2. Primer principi de la Termodinàmica

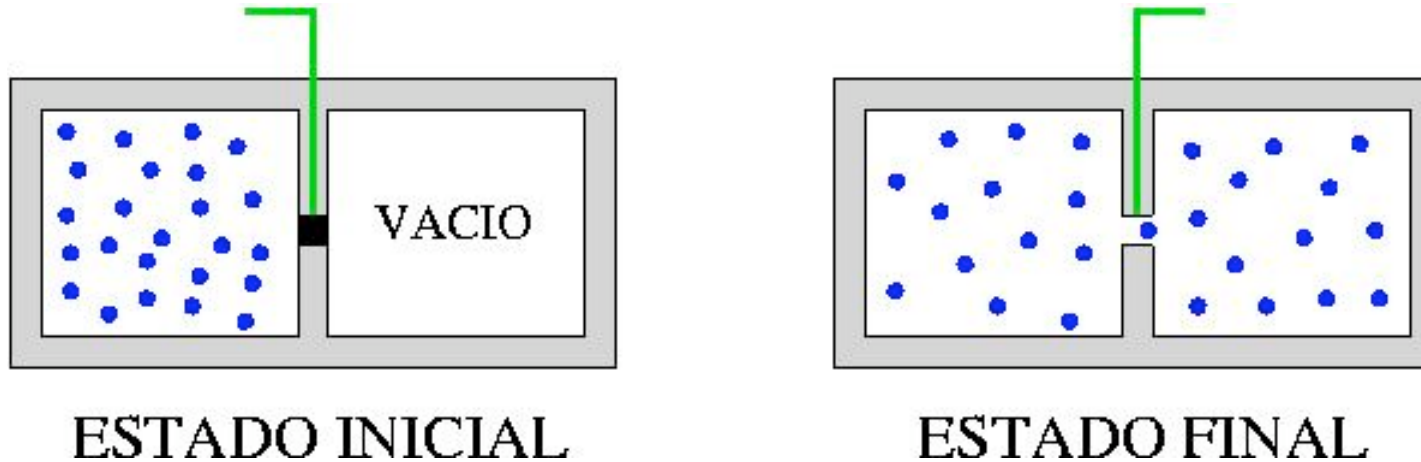
- Treball d'expansió/compressió:  $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$
- Primer principi de la Termodinàmica:

$$Q = W + \Delta U \quad dQ = dW + dU$$



- Conveni de signes:
  - $Q > 0$  quan el sistema absorbeix calor
  - $W > 0$  quan el sistema fa treball
- $Q$  y  $W$  depenen del camí,  $U$  depén només de l'estat del sistema.

## 3.2. Expansió lliure d'un gas ideal



- $Q=0, W=0 \Rightarrow$  No hi ha canvi d'energia interna
- Sí canvia la pressió i el volum
- Mesurant: no canvia la temperatura  
 $\Rightarrow$  La energia interna només depén de la temperatura



## 3.3. Calors molars

- Calor intercanviat en processos a pressió i volum constants:

$$Q_p = n c_p \Delta T, \quad Q_v = n c_v \Delta T$$

- $c_p$ : calor molar a pressió constant
- $c_v$ : calor molar a volum constant

- Relació  $c_v$ -U: 
$$c_v = \frac{1}{n} \frac{dU}{dT}$$

- Relació de Mayer: 
$$c_p - c_v = R$$



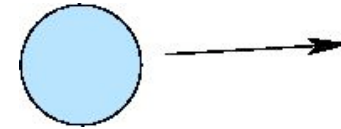
### 3.3. Teorema d'equipartició de l'energia

$$U = \frac{\ell}{2}NKT = \frac{\ell}{2}nRT \implies c_v = \frac{\ell}{2}R$$

$\ell \rightarrow$  nombre de graus de llibertat de les molècules del gas

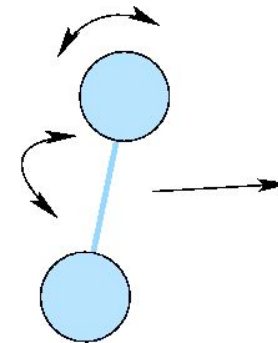
- Gasos monoatòmics:

$$\ell = 3 \longrightarrow c_v = \frac{3}{2}R$$



- Gasos diatòmics:

$$\ell = 5 \longrightarrow c_v = \frac{5}{2}R$$



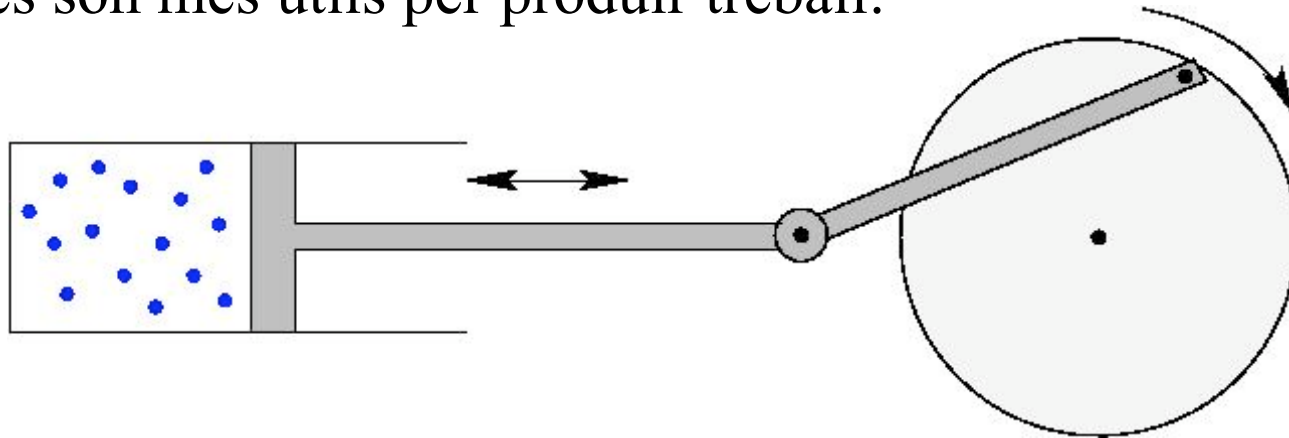
Oscil·lacions, ones i termodinàmica

## 3.4. Cicles

- Processos simples

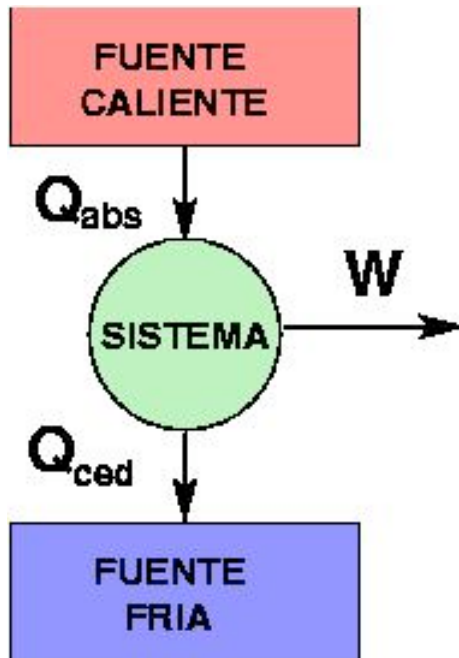


- Els cicles són més útils per produir treball:



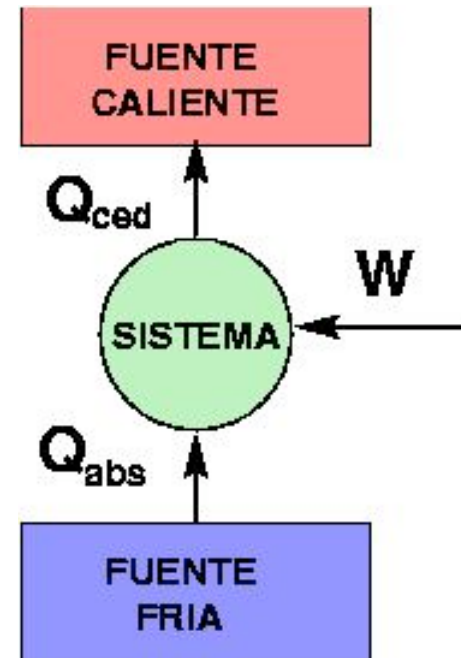
## 3.5. Màquines

- Màquina tèrmica



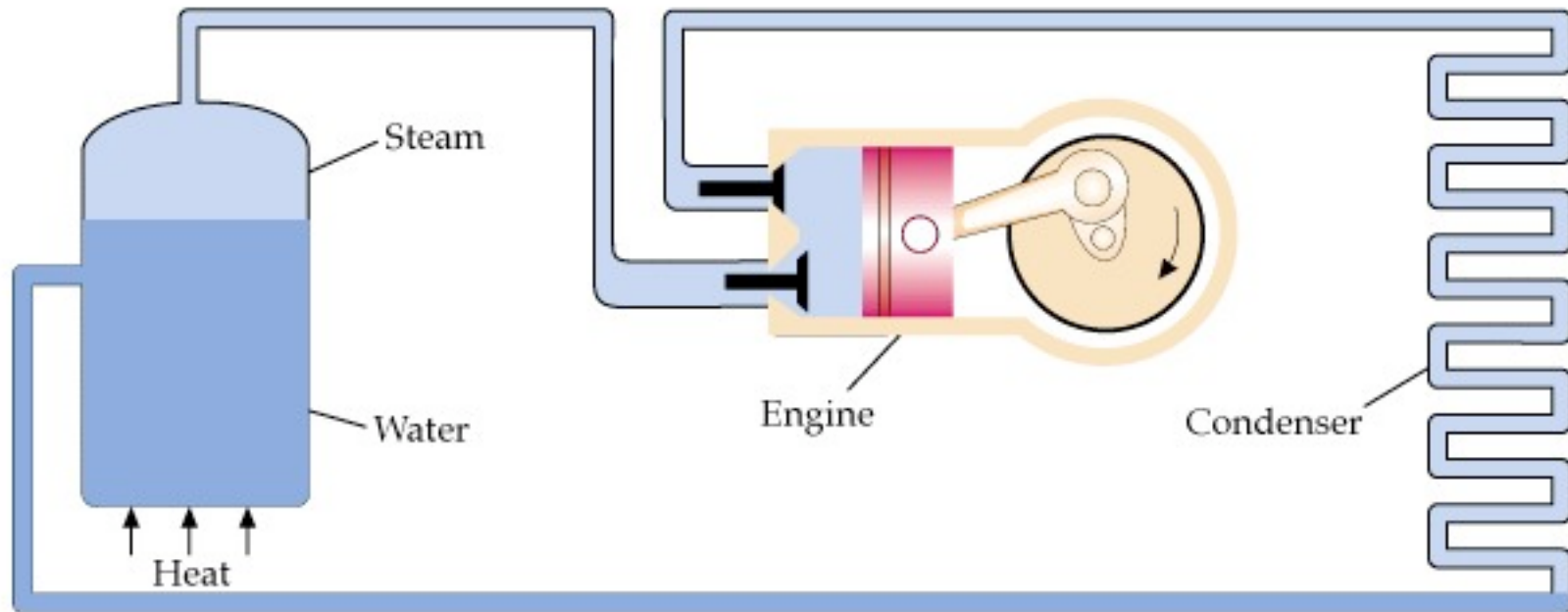
$$\eta_T = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{abs}}$$

- Màquina frigorífica

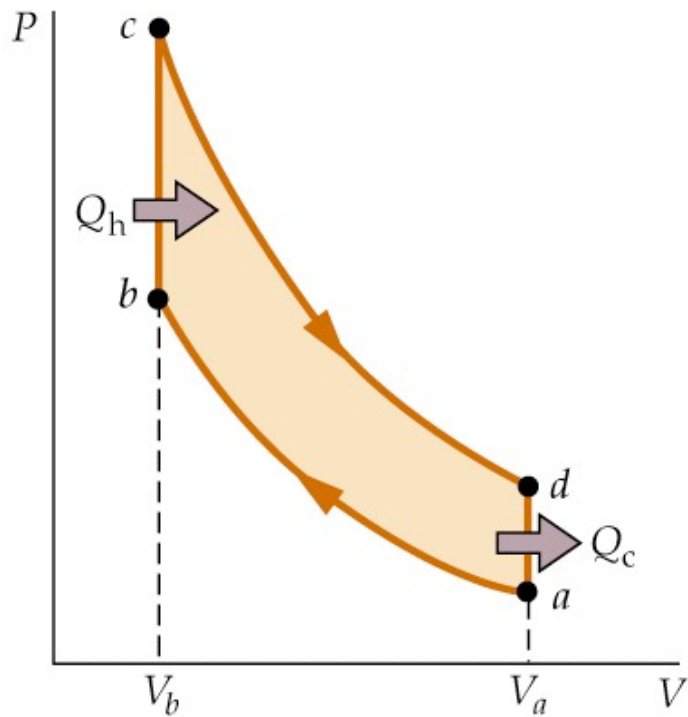


$$\eta_F = \frac{Q_{abs}}{|Q_{ced} + Q_{abs}|}$$

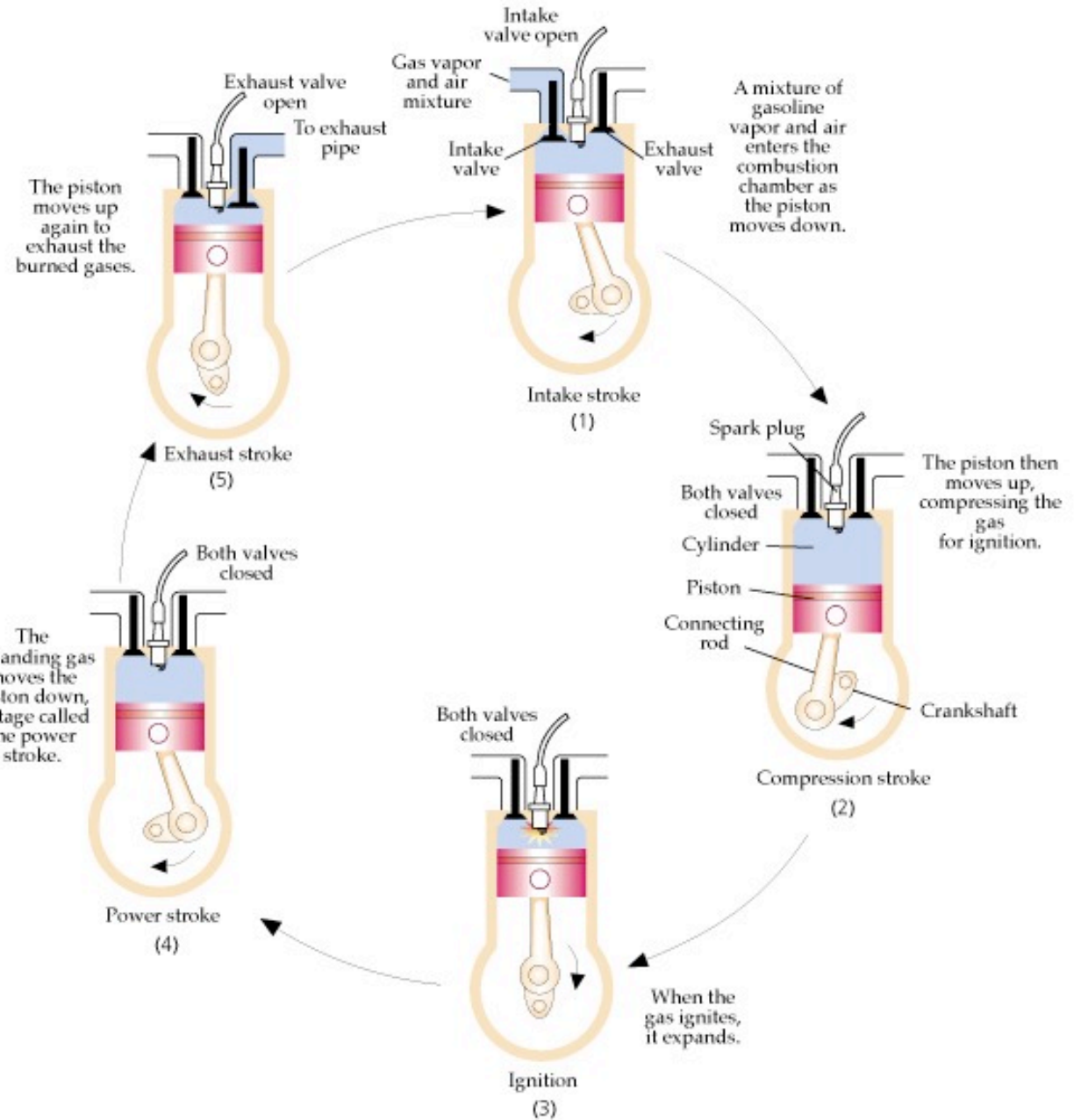
## 3.5. Màquina de vapor



# Màquina de combustión interna



Cicle d'Otto





# Segon principi de la Termodinàmica

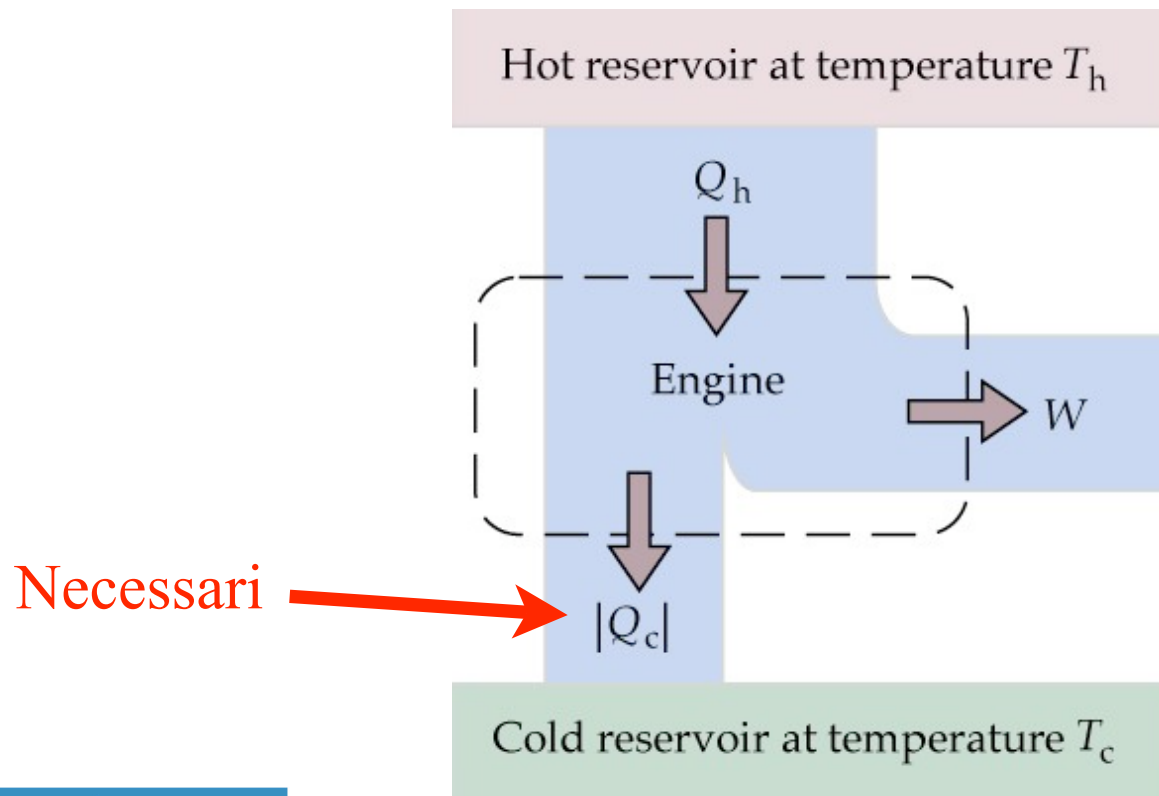
---

1. Enunciat de Kelvin del Segon Principi
2. Enunciat de Clausius del Segon Principi
3. La màquina de Carnot
4. Entropia i Segon Principi



## 4.1. Enunciat de Kelvin del Segon Principi

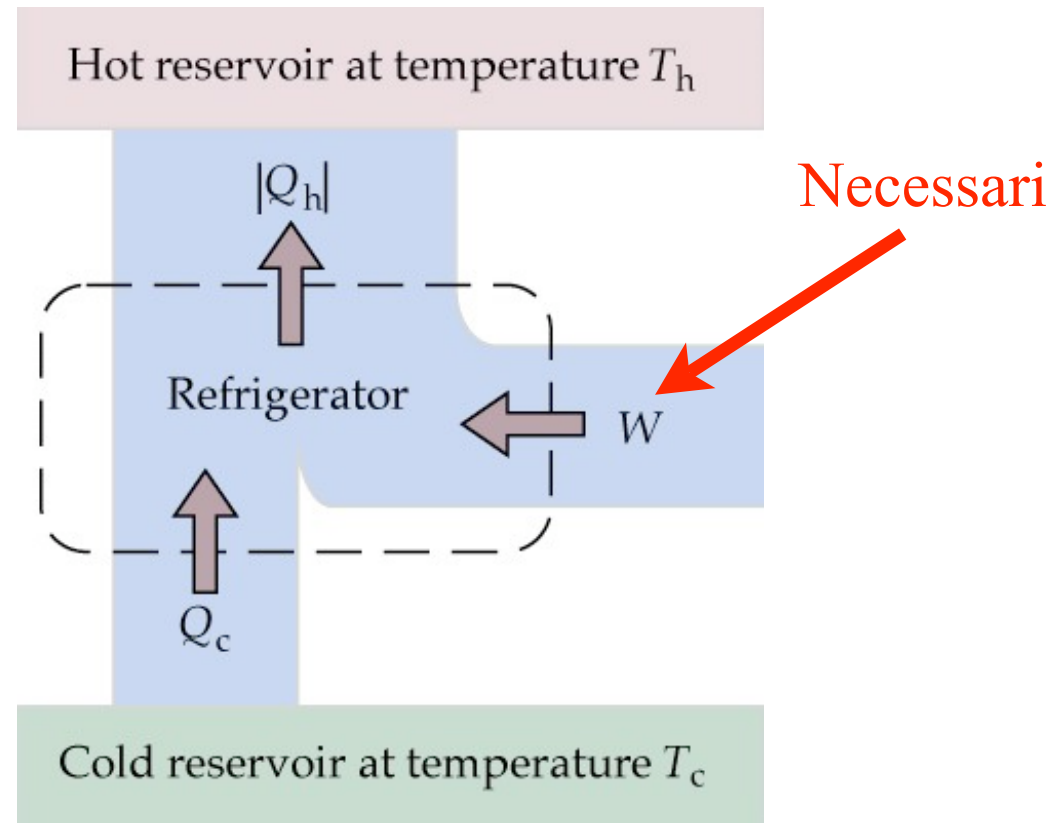
- Es impossible construir una màquina tèrmica que no cedeixi calor a un focus fred:



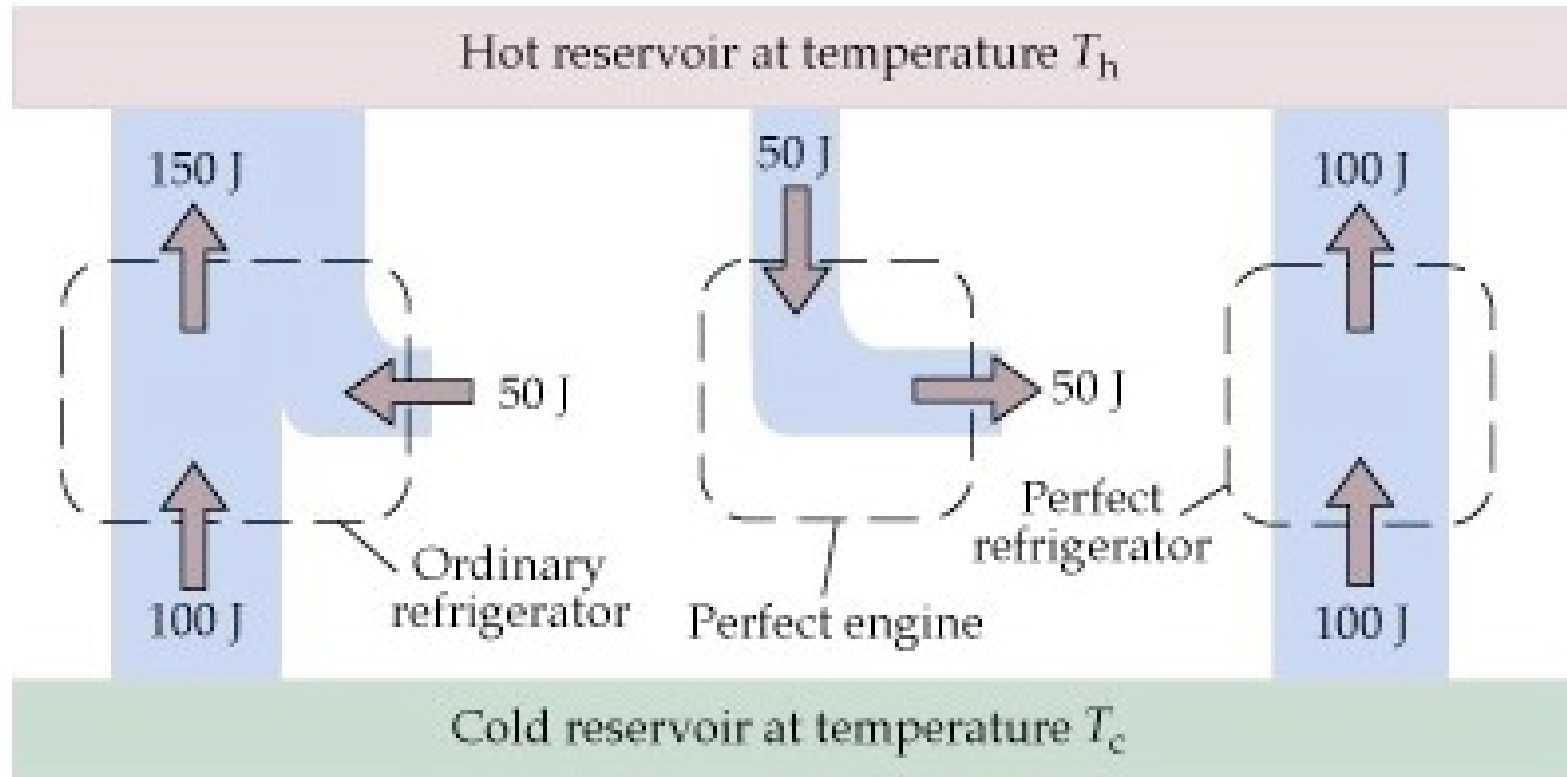


## 4.2. Enunciat de Clausius del Segon Principi

- Es impossible construir una màquina frigorífica que no requereixi treball:

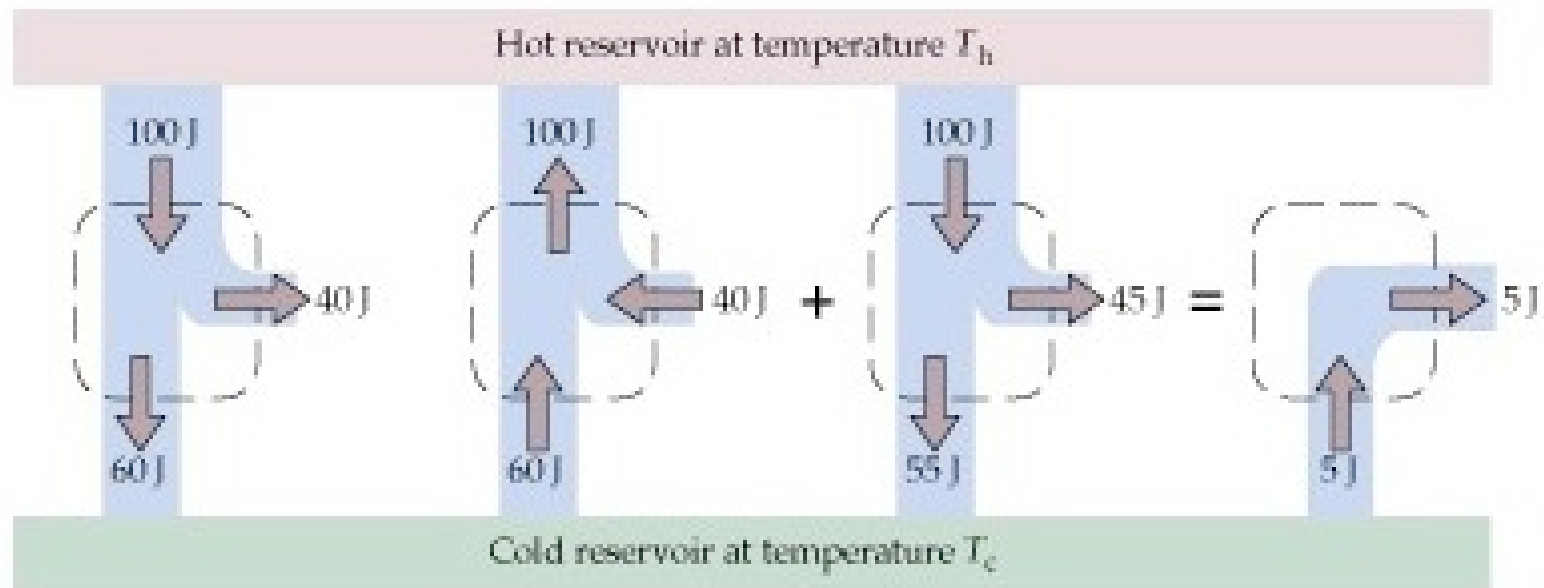


## 4.2. Equivalència dels enuncisats de Kelvin i Clausius



## 4.3. El teorema de Carnot

- El màxim rendiment d'una màquina tèrmica correspon a aquella que treballi reversiblement:



## 4.3 El cicle de Carnot

- Per tal que la màquina sigui reversible, la conducció de calor s'ha de produir isotèrmicament:

