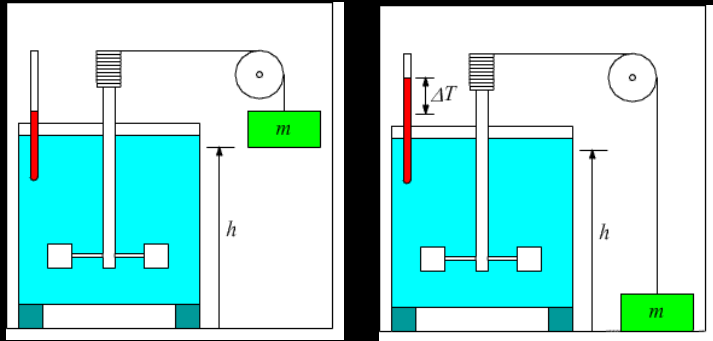


Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it

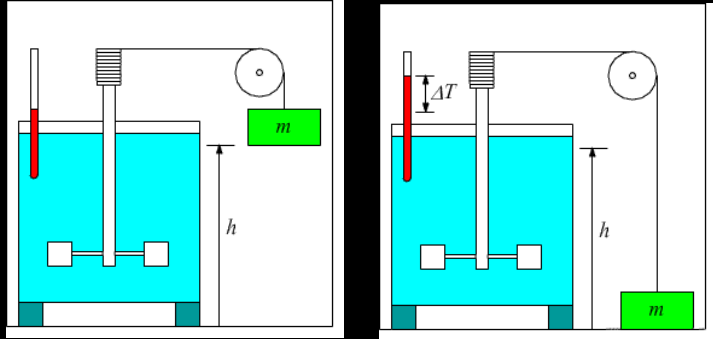
martedì 17 gennaio 2023
11:05-13:00
AULA B1

~1847: **primo** principio della Termodinamica (Helmholtz)
L'energia di un sistema isolato si conserva



esperienze di Joule: in un sistema adiabatico, in qualunque modo venga trasformata la stessa quantità di energia (meccanica, elettrica, chimica, ...) si ottiene la stessa quantità di calore e quindi, a parità di capacità termica, la stessa variazione di temperatura

Se lo stato termico finale (temperatura) è lo stesso di quello iniziale $\rightarrow Q - L = \text{costante}$ indipendentemente da come si passa dallo stato iniziale a quello finale

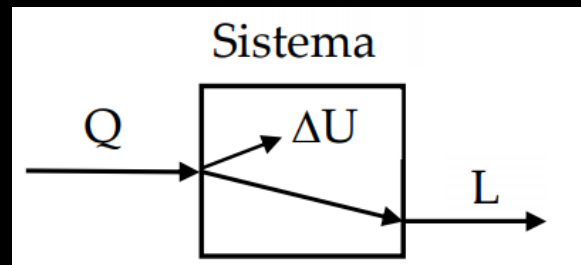


$Q - L = \text{costante}$ indipendentemente da come si passa dallo stato iniziale a quello finale

$Q - L = \Delta U$ con U energia interna

dovuta a moti molecolari e forze intermolecolari conservative
(per un gas perfetto U dipende solo dalla temperatura)

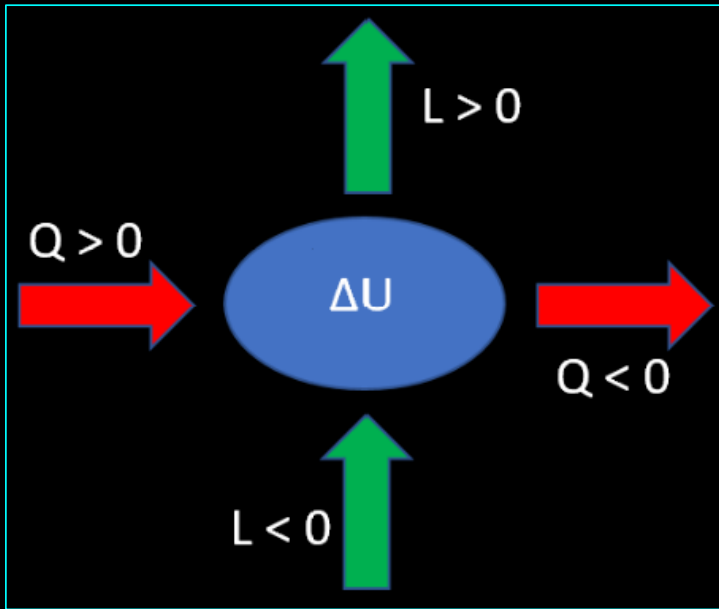
$$Q = L + \Delta U$$



$$Q = L + \Delta U$$

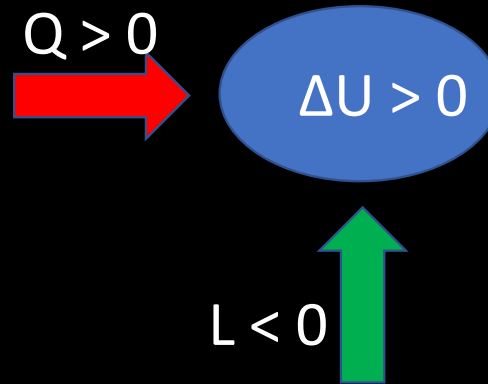
[fornisco del calore Q] = [ottengo del lavoro L] + [aumenta l'energia interna U]

TERMODINAMICA

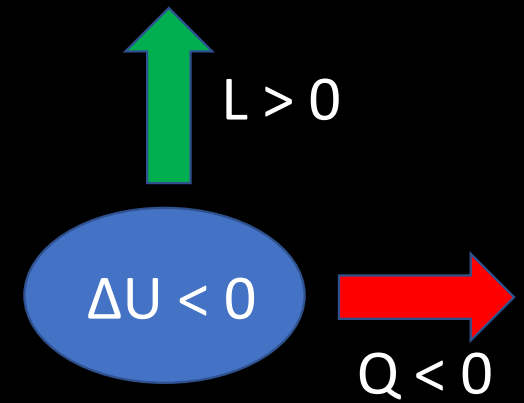


convenzione segni

$$Q = L + \Delta U$$



PRIMO PRINCIPIO



TERMODINAMICA

$$C = dQ/dT = n c_x$$

calori specifici gas

C: capacità termica

c_x : calore specifico molare nella trasformazione x

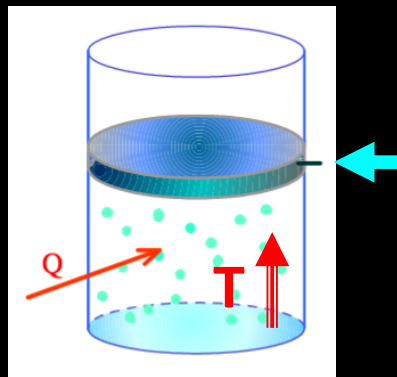
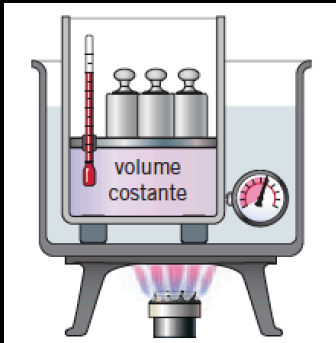
$$Q = L + \Delta U$$

$$dQ = dL + dU = p dV + dU$$

$$dQ/dT = p dV/dT + dU/dT$$

c_v : calore specifico a volume costante

$$(dQ/dT)_v = n c_v = p \cdot 0 + dU/dT \quad \rightarrow \quad n c_v = dU/dT \quad \rightarrow \quad dU = n c_v dT$$



a volume costante $L = 0 \rightarrow Q = \Delta U$
(come nei solidi/liquidi)

TERMODINAMICA

$$C = dQ/dT = n c_x$$

calori specifici gas

C: capacità termica

c_x : calore specifico molare nella trasformazione x

$$Q = L + \Delta U$$

$$dQ = dL + dU = p dV + dU$$

c_p : calore specifico a pressione costante

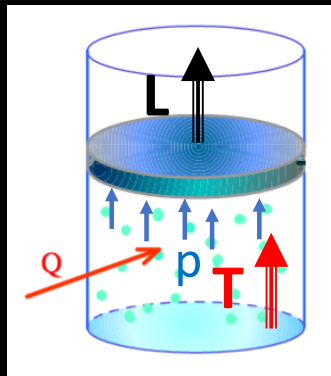
$$dQ/dT = p dV/dT + dU/dT$$

$$pV = nRT \quad dU = n c_v dT$$

$$(dQ/dT)_p = n c_p = d(pV)/dT + dU/dT = d(nRT)/dT + n c_v dT/dT$$

$$= n R + n c_v = n (R + c_v)$$

$$\rightarrow c_p = c_v + R \text{ (relazione di Mayer)}$$



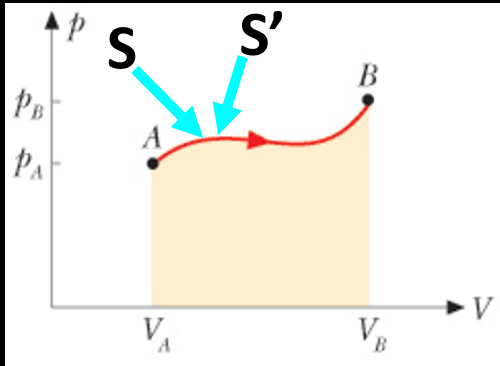
| | c_v | c_p | $\gamma = c_p/c_v$ |
|------------------|---------|---------|--------------------|
| gas mono-atomico | $3/2 R$ | $5/2 R$ | $5/3 = 1,67$ |
| gas bi-atomico | $5/2 R$ | $7/2 R$ | $7/5 = 1,40$ aria |
| gas poli-atomico | $3 R$ | $4 R$ | $4/3 = 1,33$ |

a pressione costante $L \neq 0 \rightarrow Q = L + \Delta U$
(soprattutto i gas)

$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

TERMODINAMICA

TRASFORMAZIONI

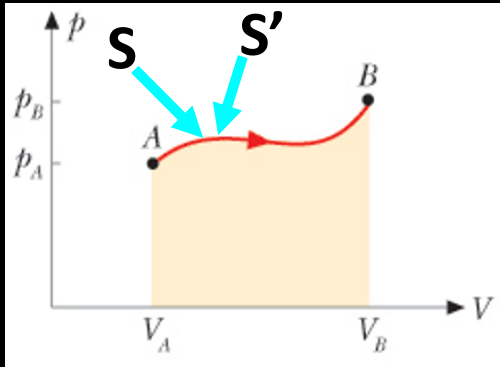


consideriamo trasformazioni in cui si passa da uno stato di equilibrio A a uno stato di equilibrio B attraversando **stati successivi di equilibrio** (trasformazione lenta, quasi statica):

il sistema passa da uno stato di equilibrio $S = (p, V, T)$ a uno stato di equilibrio infinitamente vicino $S' = (p+dp, V+dV, T+dT)$ scambiando con l'ambiente quantità infinitesime dQ e dL .

Questo significa che invertendo il verso di dQ e di dL si torna da S' a S
→ **trasformazione reversibile**

Graficamente nel piano di Clapeyron significa che la funzione $p(V)$ associata a una trasformazione termodinamica reversibile è una **funzione continua**

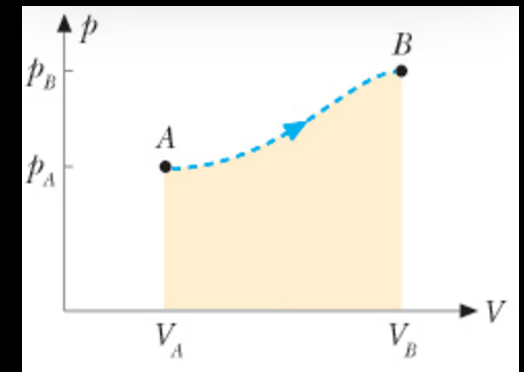


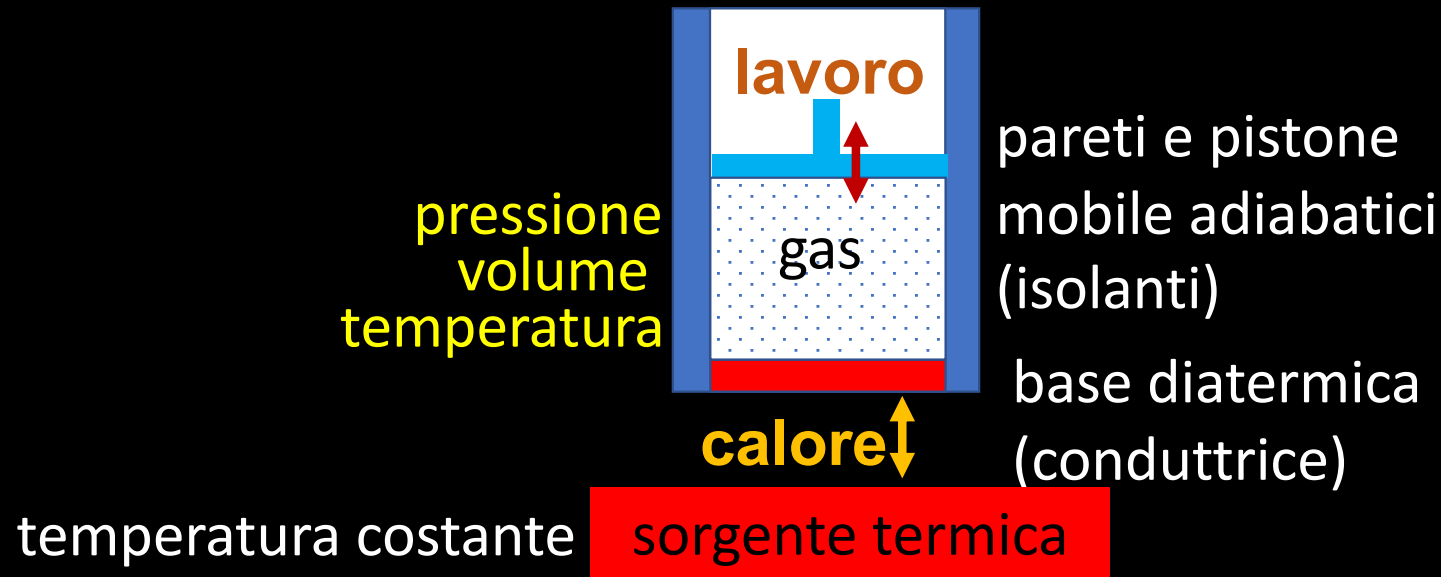
Nel piano di Clapeyron la funzione $p(V)$ associata a una trasformazione termodinamica **reversibile** (trasformazione lenta, quasi statica) è una **funzione continua**

Una trasformazione **spontanea** è spesso molto rapida. Questo significa che andando da A a B non si dà tempo per raggiungere stati intermedi di equilibrio \rightarrow una o più variabili p, V, T non sono definite!

La trasformazione non è reversibile.

Graficamente una **trasformazione irreversibile** da A a B è spesso disegnata con un tratteggio

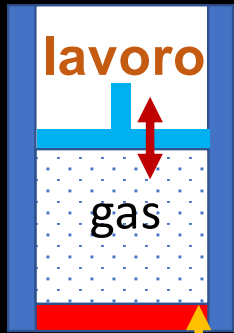




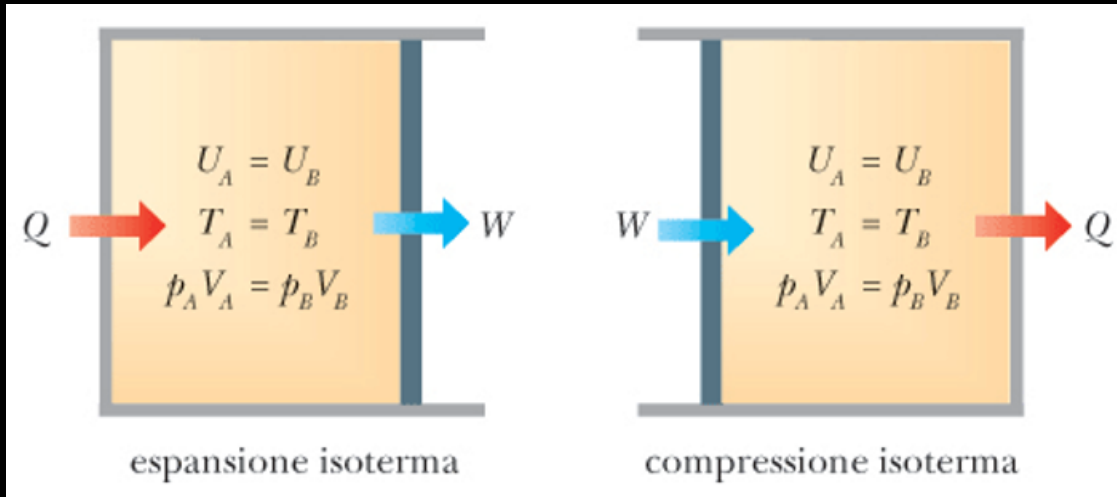
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ISOTERMA $\Delta T = 0$

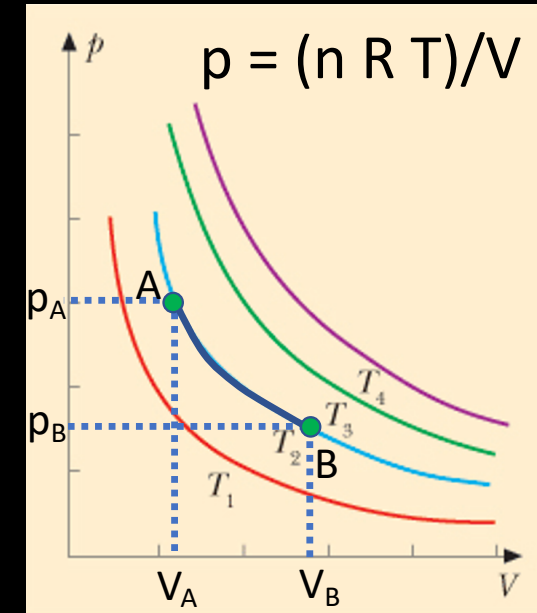


calore
sorgente
termica



A \rightarrow B

B \rightarrow A



$$dL = p dV = (nRT/V) dV = nRT dV/V \rightarrow L = nRT \ln (V_B/V_A)$$

$$dL = p dV = p d(nRT/p) = p nRT d(1/p) = p nRT (-dp/p^2) = -nRT dp/p$$

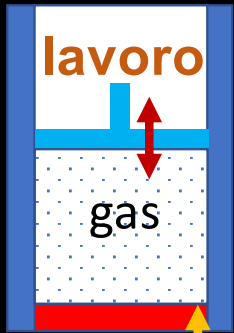
$$\rightarrow L = -nRT \ln (p_B/p_A) = nRT \ln (p_A/p_B)$$

$$dU = n c_v dT = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = L + \Delta U = \boxed{L = Q} = nRT \ln (V_B/V_A)$$

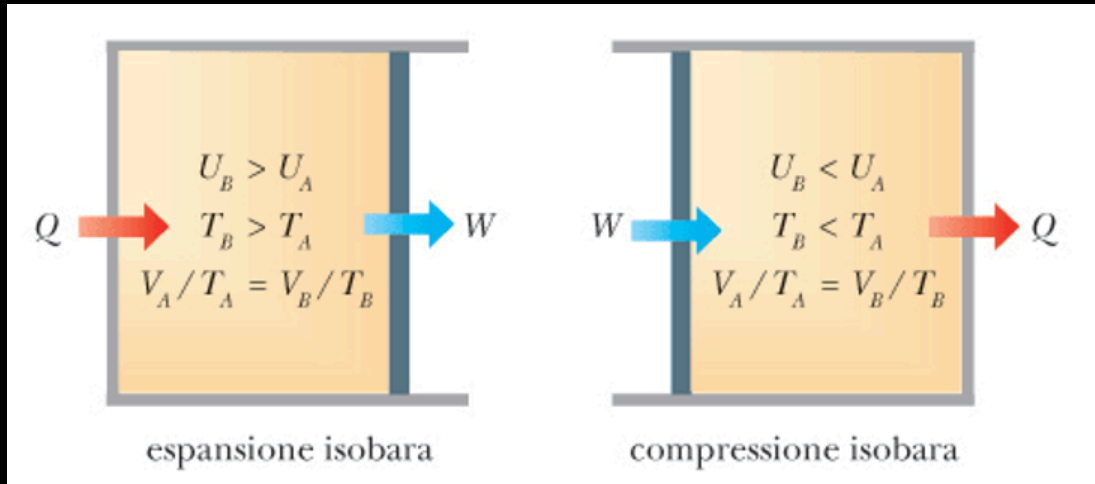
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ISOBARA $\Delta p = 0$

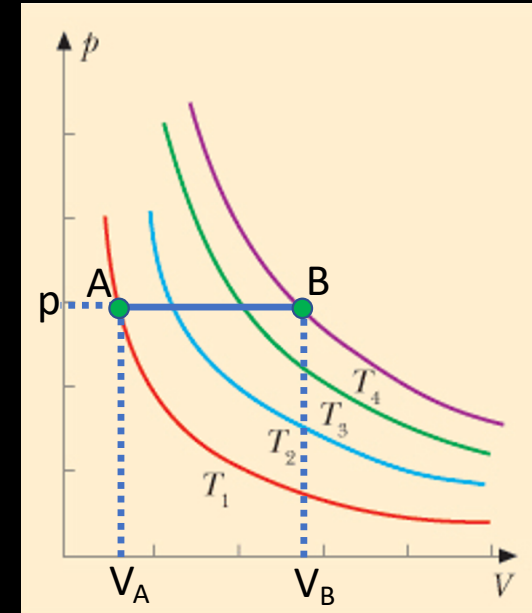


calore
sorgente
termica



A \rightarrow B

B \rightarrow A



$$dL = p dV \rightarrow L = p (V_B - V_A)$$

$$dL = p dV = d(pV) = d(nRT) \rightarrow L = nR (T_B - T_A)$$

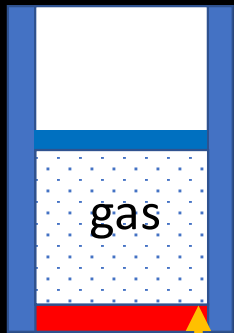
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n R (T_B - T_A) + n c_v (T_B - T_A) = n c_p (T_B - T_A)$$

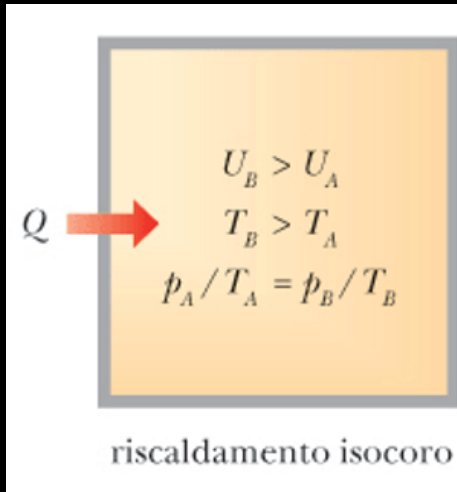
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

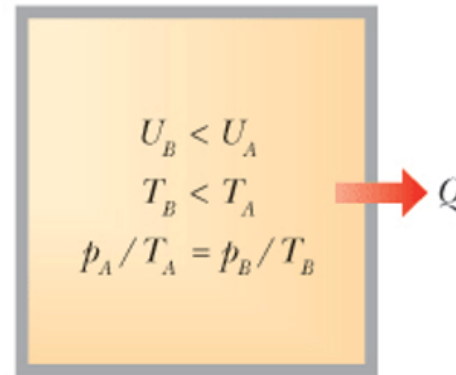
ISOCORA $\Delta V = 0$



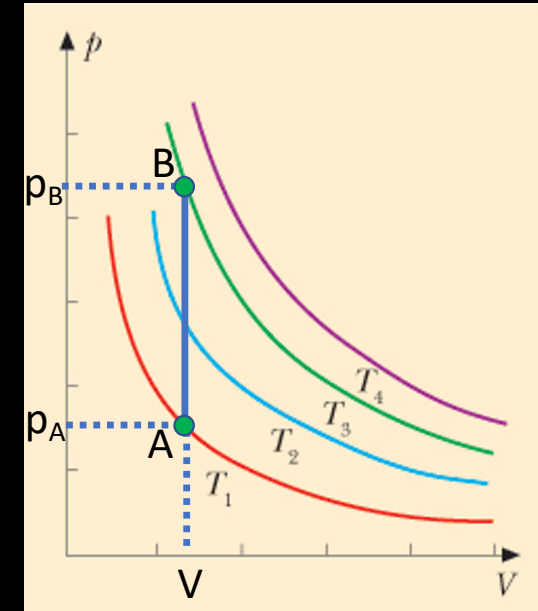
calore
sorgente
termica



A \rightarrow B



B \rightarrow A

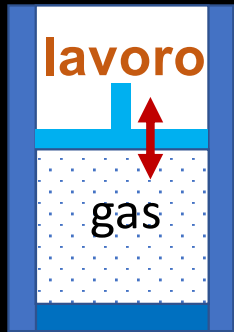


$$dL = p dV \rightarrow L = 0$$

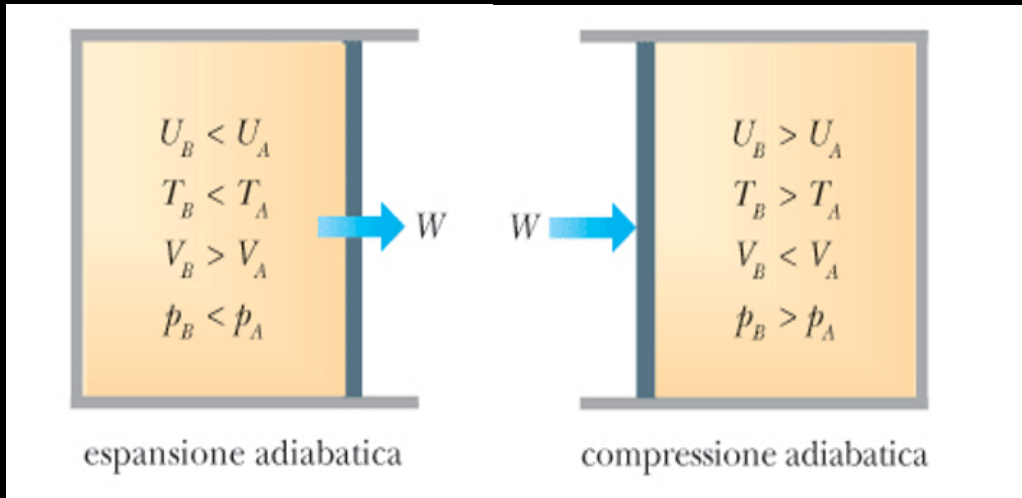
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

TERMODINAMICA

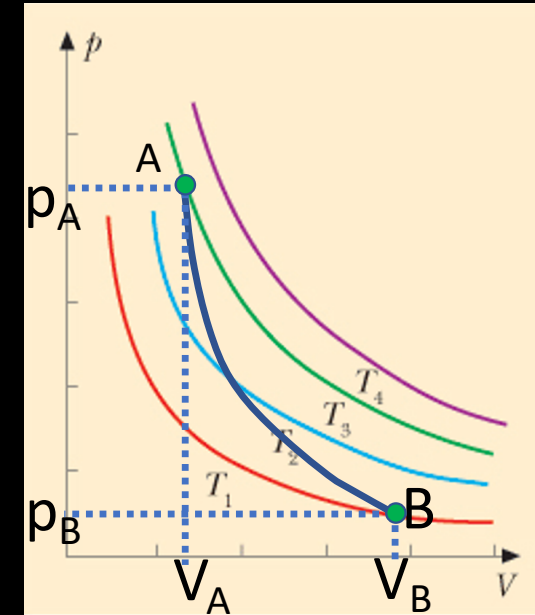


$$p V = n R T$$



ADIABATICA

$$dQ=0$$



~~sergente termica~~

$$p V^\gamma = \text{costante} \quad \gamma = \text{coefficiente adiabatico} = c_p/c_v$$

$$T V^{\gamma-1} = \text{costante}$$

$$T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}$$

$$\text{monoatomici } \gamma = 5/3 = 1,67$$

$$\text{biatomici } \gamma = 7/5 = 1,40$$

$$\text{poliatomici } \gamma = 4/3 = 1,33$$

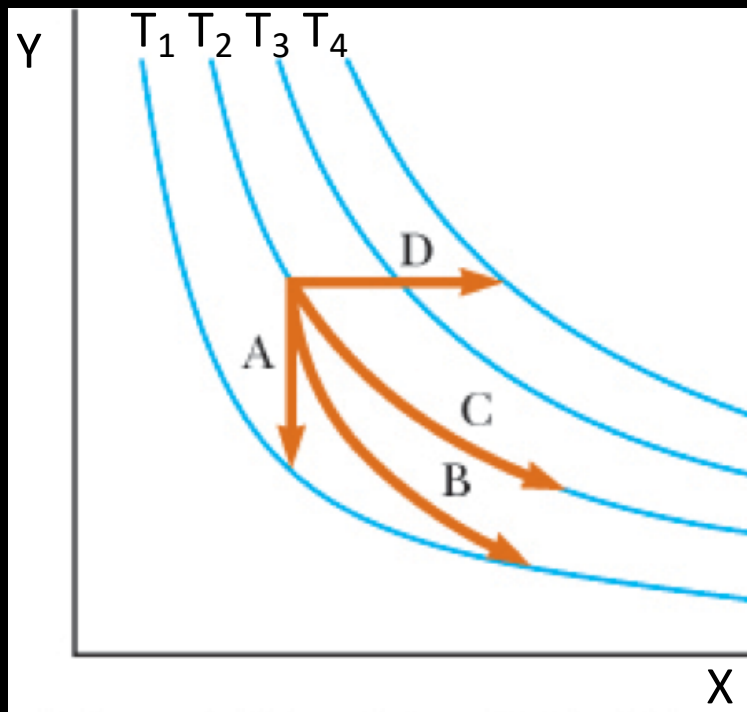
$$c_p = c_v + R$$

$$dQ = dL + dU \rightarrow 0 = p dV + n c_v dT = n R T dV/V + n c_v dT \rightarrow dV/V = -c_v/R dT/T$$

$$\ln(V/V_0) = \ln[(T/T_0)^{-c_v/R}] \rightarrow V/V_0 = (T/T_0)^{-c_v/R} \rightarrow V T^{c_v/R} = \text{costante}$$

$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A) \rightarrow \boxed{Q = 0 \rightarrow L = -\Delta U = -n c_v (T_B - T_A)}$$

$$dQ = p dV + n c_v dT$$



identificare:

- 1) X e Y
- 2) la temperatura minore e quella maggiore
- 3) i quattro tipi di trasformazione
- 4) il segno del calore scambiato per ognuna delle trasformazioni
- 5) quale trasformazione produce il lavoro minore

TERMODINAMICA

ESERCIZIO

Una mole di gas perfetto **monoatomico** alla temperatura $T_1 = 600 \text{ K}$ compie un'**espansione adiabatica** che ne aumenta il volume da $V_1 = 1 \text{ m}^3$ a $V_2 = 2 \text{ m}^3$. Calcolare la temperatura finale del gas e il lavoro compiuto nell'espansione.

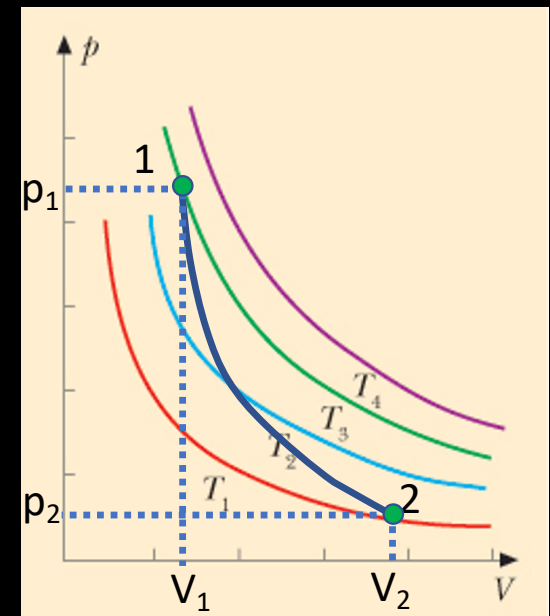
$$TV^{\gamma-1} = \text{cost} \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{\gamma-1} = (1/2)^{5/3-1} = 0,63$$

$$T_2 = 600 \text{ K} \times 0,63 = 378 \text{ K}$$

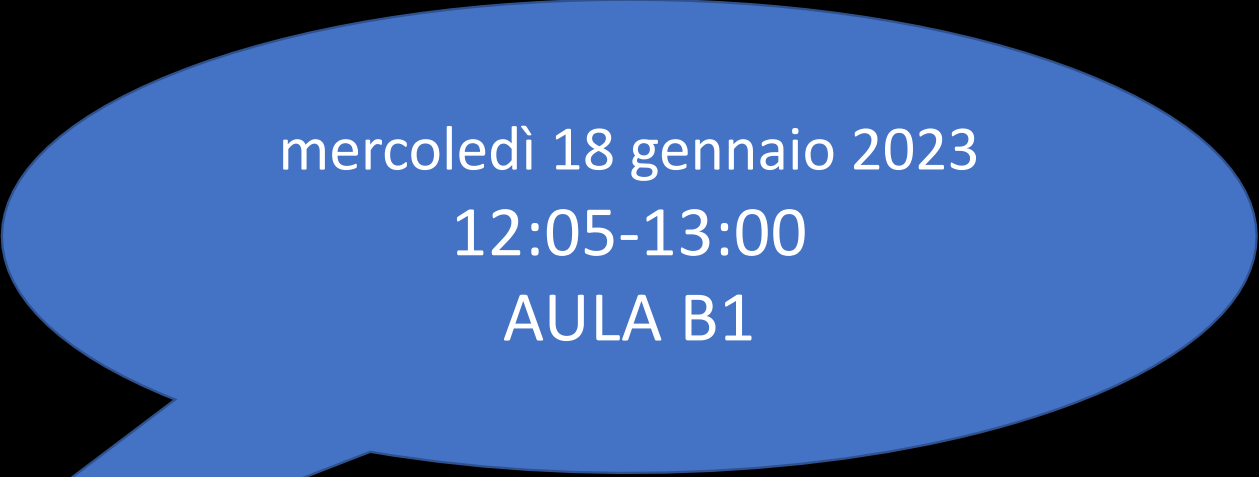
$$L = -\Delta U = -n c_v (T_2 - T_1) = -3/2 R (378 - 600) = 2765 \text{ J} > 0$$

ADIABATICA



Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it



mercoledì 18 gennaio 2023
12:05-13:00
AULA B1