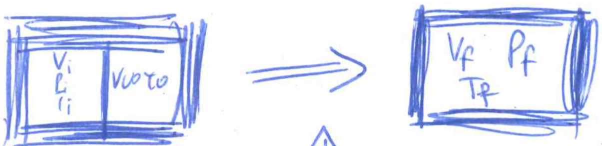
Empiricamente: per un gas ideale energia interna dipende solo da T e non da V e P! (gas rarefatti)

Esperimento di Joule



pareti adiabatiche

bruscamente!!! non quasistatica

Si trova $T_f = T_i$!

(nel limite di gas rarefatto)

~~ΔU ... ΔQ~~

$$\Delta U = Q - W \quad , \quad \underbrace{Q=0, W=0}_{\text{Espansione libera}}$$

$$\Rightarrow \Delta U = 0 \iff U = \text{costante}$$

L'energia interna del gas non cambia in un'espansione libera

$$\Rightarrow \boxed{U = U(T)}$$ (per un gas ideale!)

(ripetere esperimento con diversi P, V)

Gas ideale:

1) $PV = nRT$ 2) $U = U(T)$

$$c_V = \frac{1}{n}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{1}{n}\frac{dU}{dT} \rightarrow dU = n c_V dT$$ per trasformazioni infinitesime di un gas ideale

$$\rightarrow \int dU = \int n c_V dT \longrightarrow U(T) = n c_V T \underbrace{+ \text{const}}_{\text{irrilevante per le trasformazioni}}$$

Primo principio a c_V noto:

$$\boxed{\delta Q = n c_V dT + P dV}$$

Possiamo scriverlo in modo diverso sfruttando l'equazione di stato

$PV = nRT$ $\quad d(PV) = PdV + VdP \Rightarrow PdV = d(PV) - VdP = nR\,dT - VdP$

$$\Rightarrow \delta Q = nc_v dT + PdV = nc_v dT + nRdT - VdP = n(c_v + R)dT - VdP$$

In caso di trasformazione a $P = const$, $dP = 0$

$$\rightarrow \boxed{\delta Q_p = n(c_v + R)\,dT = nc_p dT}$$

calore specifico molare a pressione costante

$$c_p = c_v + R$$ (conferma $c_p > c_v$ scritto prima!)

Capacità termica a pressione costante

$$C_p = C_v + nR$$ (relazione di Mayer)

Primo principio in forma differenziale per gas ideale

$$\boxed{\delta Q = dU + PdV = nc_v dT + PdV = nc_p dT - VdP}$$

Esperimenti mostrano che per gas rarefatti $\frac{dc_v}{dT} \approx 0$ $\frac{dc_p}{dT} \approx 0$

c_v, c_p costanti con la temperatura

	Gas monoatomici	Gas biatomici
c_v	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
c_p	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$

↳ Giustificazione teorica da teoria cinetica dei gas

Trasformazioni di un gas ideale

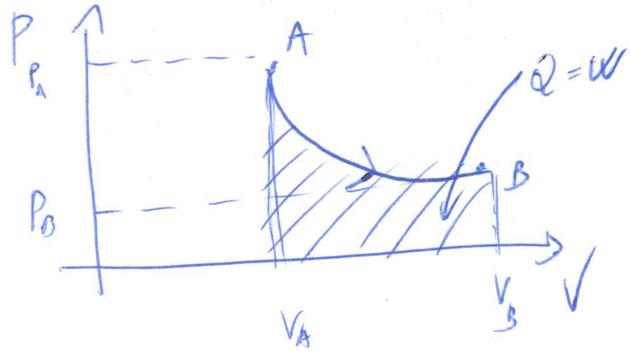
Applichiamo concretamente il primo principio ~~trasformazioni~~

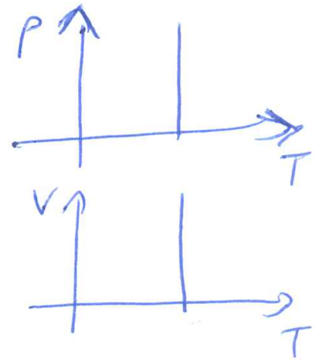
- Isoterma (quasistatica) $\Rightarrow \Delta T = 0$
- Isobara (quasistatica) $\Rightarrow \Delta P = 0$
- Isocora (quasistatica) $\Rightarrow \Delta V = 0$
- Adiabatica (quasistatica) $\Rightarrow Q = 0$
- Espansione libera (non quasistatica) $\Rightarrow Q = 0, W = 0$

Trasformazione isoterma quasistatica

$T = \text{const} \Rightarrow$ contatto con un termostato $C_T \gg C_{gas}$
espandere o contrarre il gas lentamente (es. cilindro con pistone)

$PV = nRT \longrightarrow$ ramo d'iperbole in P-V





$U = U(T) \Rightarrow \Delta U = U(B) - U(A) = 0 \Rightarrow Q = W$

Gas espanso $(V_B > V_A) \Rightarrow W > 0$ calore passa dal termostato al gas

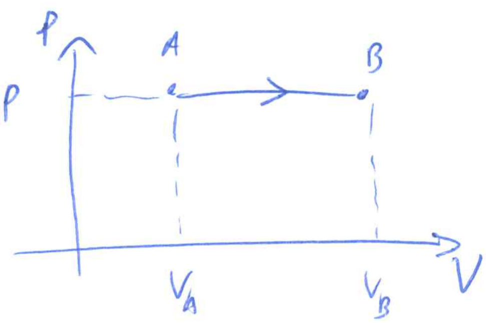
Gas contratto $(V_B < V_A) \rightarrow W < 0$ calore passa dal gas al termostato

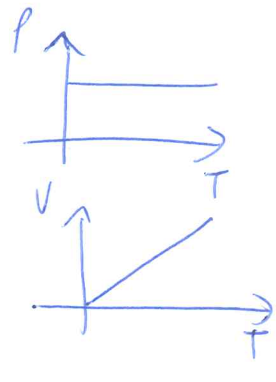
$$\delta W = P dV \rightarrow W = \int_{V_A}^{V_B} dV\, P(V) = \int_{V_A}^{V_B} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} =$$

$$= nRT \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \qquad W = nRT \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \qquad Q = nRT \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

$|Q, W|$: area sotto la curva P-V

Trasformazione isobara quasistatica





$P = \text{const} \Rightarrow$ a contatto con termostato con temperatura regolabile

$$W = \int_{V_A}^{V_B} dV\, P(V) = P \int_{V_A}^{V_B} dV = P(V_B - V_A) = P \Delta V$$

$$\delta Q = n c_p dT \rightarrow Q = \int_{T_A}^{T_B} n c_p dT = n c_p \Delta T$$

$$dU = n c_v dT \rightarrow U = \int_{T_A}^{T_B} n c_v dT = n c_v \Delta T$$