$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ rendimento ideale del ciclo di Carnot, non dipende da tipo di gas (ideale) e dimensioni del sistema

Se $T_L \sim T_H$ $\quad \eta \ll 1$

Se $T_L \ll T_H$ $\quad \eta \sim 1$ $\quad$ ($\eta \to 1$ per $T_L \to 0$ e/o $T_H \to \infty$)

Supponiamo $T_L \sim 300K$ (ambiente!)

$T_H \sim 600K$ $\quad \to \eta = 0.5$

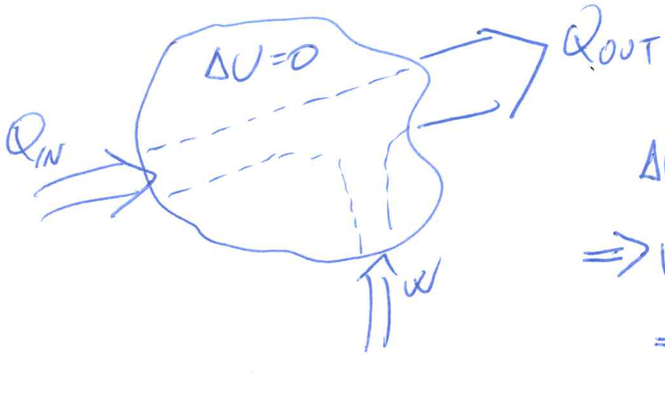
$T_L \sim 273.15K$ (punto del ghiaccio)

$T_H \sim 373.15K$ (punto del vapore) $\quad \to \eta \approx 0.27$

Macchine frigorifere

In precedenza avevamo, per un ciclo, $\Delta U = 0$ con $Q = W$, ma $Q_{IN} \geq |Q_{OUT}|$ così che $W = Q_{IN} - |Q_{OUT}| > 0$ ovvero lavoro netto positivo: estraiamo energia meccanica dal sistema "pompando" calore

Possiamo lavorare "al contrario", immettere energia meccanica nel sistema (lavoro negativo), purché si estrae più di calore di quello che viene assorbito



$\Delta U = 0 = Q - W = Q_{IN} + Q_{OUT} - W = 0$

$\Rightarrow W = Q_{IN} + Q_{OUT} < 0$

$\Rightarrow Q_{IN} < \underbrace{-Q_{OUT}}_{Q_{OUT}<0} = |Q_{OUT}|$

$Q_{IN} < |Q_{OUT}|$

Usiamo una macchina frigorifera per estrarre energia termica da un ~~ser~~ serbatoio "freddo" a spese di lavoro compiuto dal sistema.

→ ceduta a un serbatoio "caldo"!

Frigorifero efficiente ⇔ preleva molto Q_{IN} utilizzando poco W

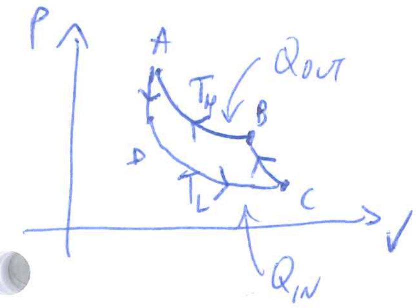
Coefficiente di prestazione

$$\omega = \frac{Q_{IN}}{|W|} = \frac{Q_{IN}}{|Q_{OUT}|-Q_{IN}} = \left(\frac{|Q_{OUT}|}{Q_{IN}}-1\right)^{-1} \geq 0$$

~~dato che $|Q_{OUT}|$~~

dato che $|Q_{OUT}| > Q_{IN}$

Esempio: Ciclo di Carnot invertito (ADCBA)



Adiabatica $A \to D$

$Q_{AD}=0$ $\quad -\Delta U_{AD} = W_{AD} = n c_V (T_H - T_L) > 0$

Isoterma $D \to C$

$\Delta U_{DC} = 0$ $\quad W_{DC} = nRT_L \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right) > 0$

$Q_{DC} = W_{DC} = nRT_L \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right) > 0 \to Q_{IN}$

Adiabatica $C \to B$

$Q_{CB} = 0$ $\quad W_{CB} = -\Delta U_{CB} = n c_V (T_L - T_H) < 0$

Isoterma $B \to A$

$\Delta U_{BA} = 0$ $\quad W_{BA} = nRT_H \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) < 0$ $\quad Q_{BA} = W_{BA} = nRT_H \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) < 0 \to Q_{OUT}$

$Q_{IN} = nRT_L \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right) \geq 0$ $\quad Q_{OUT} = nRT_H\left(\frac{V_A}{V_B}\right) < 0$

Vale sempre che $\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$

$$\omega = \left(\frac{|Q_{OUT}|}{Q_{IN}} - 1\right)^{-1} = \left(\frac{\cancel{nR}T_H \cancel{\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)}}{\cancel{nR}T_L \cancel{\ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)}} - 1\right)^{-1} =$$

$$= \left(\frac{T_H}{T_L} - 1\right)^{-1} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \xrightarrow{T_L \to 0 \text{ e/o } T_H \to \infty} 0$$

$$\frac{T_L}{T_H - T_L} \xrightarrow{T_H \to T_L} \infty \quad \text{ma attenzione! } W = 0, \; Q_{IN} = |Q_{OUT}|$$

$$|W| = \omega \, Q_{IN} = \frac{T_L}{T_H - T_L} Q_{IN}$$

es. $T_H = 20°C$, $T_L = -10°C$ $\rightarrow$ $\omega = 8.8$

$T_H = -10°C$, $T_L = -40°C$ $\rightarrow$ $\omega = 7.8$

La prestazione diminuisce con la temperatura del serbatoio freddo!

Esempio: congelare acqua

$T_L = 0°C = 273.15K$ $\quad T_H \sim 300K$

$$\omega = \frac{273.15}{300 - 273.15} \simeq 10$$

$\downarrow$

cosa vuol dire?

Ogni J di lavoro esterno convertito in 10 J di calore estratti dalla miscela acqua-ghiaccio

Riassunto:

Ciclo di Carnot	Frigorifero di Carnot
• Q_{IN} assorbito dal serbatoio caldo	• Q_{IN} assorbito da serbatoio freddo
• $\|Q_{OUT}\|$ ceduto al serbatoio freddo	• $\|Q_{OUT}\|$ ceduto a serbatoio caldo
$0 \leq \eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \leq 1$ (si vuole $T_H \gg T_L$)	$\omega = \frac{T_L}{T_H - T_L}$