11 - Termodinamica I

Monday, 30 August 2021 16:54

- PRIMO PRINCIPIO

ES 1 TERMOMETRO A MERCURIO

$0°C$ $h_1 = 5cm$

$100°C$ $h_2 = 10cm$

MISURE FATTE A P ATMOSFERICA

CALCOLA COSTANTI TERMODINAMICHE

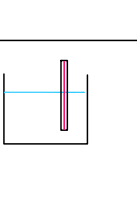
$\boxed{h = aT + b}$ IPOTESI DI RELAZIONE LINEARE

$\begin{cases} h_1 = aT_1 + b \\ h_2 = aT_2 + b \end{cases}$ $\begin{cases} 0{,}05 = b \\ 0{,}010 = 100a + 0{,}05 \end{cases}$ $\boxed{\begin{cases} a = 5 \cdot 10^{-4}\ m/°C \\ b = 0{,}05\ m \end{cases}}$

A CHE TEMPERATURA $h = 8cm$?

$h_3 = aT + b \rightarrow T = \frac{h_3 - b}{a} = 60°C$

ES 2



TERMOMETRO C, t_i

FLUIDO m, c, t

TEMPERATURA MISURATA DAL TERMOMETRO

$Q_1 = Q_2$

$mct + Ct_i = (mc + C)t_F$

$\boxed{t_F = \frac{mct + Ct_i}{mc + C}}$

IL TERMOMETRO DISTORCE LA STESSA TEMPERATURA CHE STA MISURANDO

$t_F \rightarrow t$ SE $C \rightarrow 0$

PER MISURARE LA TEMPERATURA DI UN CORPO, IL TERMOMETRO DEVE ANDARCI IN EQUILIBRIO TERMICO

ES 3

GHIACCIO

$m_{GH} = 2kg$ $\lambda_F = 3{,}3 \cdot 10^5 \frac{J}{kg}$

$T_{GH} = -10°C$ $C_{GH} = 2051 \frac{J}{kg\,K}$

ACQUA

$m_{AQ} = ?$

$T_{AQ} = 20°C$ $C_{AQ} = 4186 \frac{J}{kg\,K}$

SE DOPO MESCOLAMENTO $t_{EQ} = 5°C$, GHIACCIO SCIOLTO CALCOLA LA MASSA INIZIALE DELL' ACQUA m_{AQ}

$Q_{ASS} = m_{GH} C_{GH} (T_0 - T_{GH}) + m_{GH} \lambda_F + m_{GH} C_{AQ} (T_{EQ} - T_0)$

$Q_{CED} = m_{AQ} C_{AQ} (T_{AQ} - T_{EQ})$

$\boxed{m_{AQ} = \frac{-m_G C_{GH} T_{GH} + m_{GH} \lambda_F + m_{GH} C_{AQ} T_{EQ}}{C_{AQ} (T_{AQ} - T_{EQ})}} \cong 11{,}5\ Kg$

ES 4 PROIETTILE DI PIOMBO

$m = 0{,}05\ kg$

$T_{Pb} = 20°C$

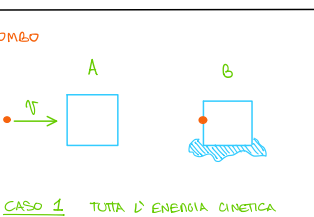
$V_0 = 100\ m/s$

$M = 0{,}5\ kg$

$C_{Pb} = 130 \frac{J}{kg\,K}$

$\lambda_F = 3{,}3 \cdot 10^5\ J/kg$

QUANTO GHIACCIO SI SCIOGLIE ?



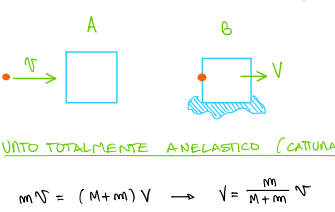
CASO 1 TUTTA L' ENERGIA CINETICA SI TRASFORMA IN CALORE

$E_{CED} = m_{Pb} C_{Pb} (T_{Pb} - T_0) + \frac{1}{2} m V^2$

$E_{ASS} = m_{GH} \lambda_F$

$\boxed{m_{GH} = m_{Pb} \frac{(C_{Pb} T_{Pb} + \frac{1}{2} V^2)}{\lambda_F}} = 1{,}15g$

CASO 2 SOLO L' ENERGIA DISSIPATA DURANTE L' URTO SI TRASFORMA IN CALORE



URTO TOTALMENTE ANELASTICO (CATTURA)

$mV = (M + m)V \rightarrow V = \frac{m}{M+m} V$

$Q = E_{DISSIPATA} = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2}(m+M)V^2 = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2}(m+M) \frac{m^2}{(m+M)^2} V^2$

$\boxed{E_{DISSIPATA} = \frac{1}{2} m V^2 \left(1 - \frac{m}{M+m}\right)}$

$E_{CED} = m_{Pb} C_{Pb} (T_{Pb} - T_0) + E_{DISSIPATA}$

$E_{ASS} = m_{GH} \lambda_F$

$\boxed{m_{GH} = \frac{m_{Pb} C_{Pb} T_{Pb} + E_{DISSIPATA}}{\lambda_F}} = 1{,}08g$

ES 5

GHIACCIO

$T_{GH} = -10°C$

$m_{GH} = 0{,}1\ kg$

VAPORE

$T_{VAP} = 160°C$

$m_{VAP} = 0{,}2\ kg$

MESCOLAMENTO ADIABATICO A P_{atm}

$C_{GH} = 0{,}5\ CAL/g°C$

$C_{AQ} = 1\ CAL/g°C$

$C_{VAP} = 0{,}44\ CAL/g°C$

λ_{VAP} (CONDENSAZIONE) $= 540\ CAL/g$

λ_{GH} (FUSIONE) $= 80\ CAL/g$

COMPOSIZIONE FINALE AD EQUILIBRIO TERMICO ?

CALORE ASSORBITO

$m_{GH} C_{GH} (T_0 - T_{GH}) = 500\ CAL$ — GH SI RISCALDA FINO A 0°C

$m_{GH} \lambda_{GH} = 8000\ CAL$ — GH DIVENTA ACQUA

$m_{GH} C_{AQ} (T_{100} - T_0) = 10000\ CAL$ — AQ SI RISCALDA FINO A 100°C

$m_{GH} \lambda_{VAP} = 54000\ CAL$ NON AVVIENE — ~~AQ DIVENTA VAPORE~~

$m_{GH} C_{VAP} (T_{EQ} - T_{100}) =$ NON AVVIENE — ~~VAP SI RISCALDA FINO AD EQ~~

CALORE CEDUTO

$m_{VAP} C_{VAP} (T_{VAP} - T_{100}) = 5280\ CAL$ — VAP SI RAFFREDDA FINO A 100°C

$m_{VAP} \lambda_{VAP} = 108000\ CAL$ NON SI COMPLETA — VAP DIVENTA ACQUA

$m_{VAP} C_{AQ} (T_{100} - T_{EQ}) =$ NON AVVIENE — ~~AQ SI RAFFREDDA FINO AD EQ~~

$Q_{CED} >> Q_{ASSORBITO}$

IL GHIACCIO SI CONVERTE TUTTO IN VAPORE NON TUTTO IL VAPORE SI CONDENSA

EQUILIBRIO A 100°C VAPORE - ACQUA

$0{,}5 + 8 + 10 = 5{,}2 + m_{VAP} \lambda_{VAP}$

m VAPORE CHE SI CONDENSA $= \frac{13{,}3\ KCAL}{540\ CAL} = 24{,}6g$

COMPOSIZIONE

m ACQUA FINALE $= 100 + 24{,}6 = 124{,}6\ g$

m VAPORE FINALE $= 200 - 24{,}6 = 175{,}4\ g$

ES 6

$T = 300K$

$N = 10^{25}\ mol/m^3$ DENSITA' MOLECOLARE

PRESSIONE P ?

$\boxed{m = \frac{NV}{N_A}}$

$PV = mRT \rightarrow P = \frac{NRT}{N_A} = 41400\ Pa$

ES 7 MISCELA

GAS IDEALE

M_1 mol He

M_2 mol N_2

CALCOLA $C_{M,V}$

CALORE MOLARE A VOLUME COSTANTE

$C_V = \frac{1}{N}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V$

$C_V = \frac{C_V(He)\,m(He) + C_V(N_2)\,m(N_2)}{m(He) + m(N_2)}$

SEMPLICE MEDIA PESATA DEI 2

$C_V(He) = \frac{3}{2}R$ POICHE' MONOATOMICO

$C_V(N_2) = \frac{5}{2}R$ POICHE' BIATOMICO

$\boxed{C_V = \frac{M_1 \cdot \frac{3}{2}R + M_2 \cdot \frac{5}{2}R}{M_1 + M_2} = \frac{3M_1 + 5M_2}{2(M_1 + M_2)} R}$

QUANTO VALE IL $C_{M,P}$ INVECE ?

CALORE MOLARE A PRESSIONE COSTANTE

$C_P(He) = \frac{5}{2}R$ MONO

$C_P(N_2) = \frac{7}{2}R$ BI

$\boxed{C_P = \frac{5M_1 + 7M_2}{2(M_1 + M_2)}}$

ES 8

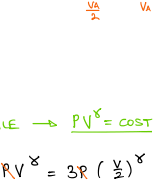
GAS IDEALE

ESP ADIABATICA REV

$P_B = 3P_A$

$V_B = \frac{V_A}{2}$

CALCOLA C_V GAS



ADIABATICA REVERSIBILE $\rightarrow PV^\gamma = cost$

$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma$ $P_A V^\gamma = 3P\left(\frac{V}{2}\right)^\gamma$

$\left(V \cdot \frac{2}{V}\right)^\gamma = 3 \rightarrow \boxed{2^\gamma = 3}$

$\gamma = \log_2(3) = 1{,}585$

$\begin{cases} C_V - C_P = R \\ \gamma = \frac{C_P}{C_V} \end{cases}$ $\begin{cases} \gamma C_P - C_P = R \\ C_P = \gamma C_V \end{cases}$

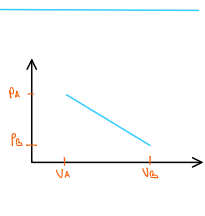
$C_P(\gamma - 1) = R \rightarrow \boxed{C_V = \frac{R}{\gamma - 1}} = 1{,}71R$

ES 9

M MOLI DI GAS IDEALE

TRASFORMAZIONE QUASI STATICA

- T(V) ?
- RELAZIONE AFFINE $T_{MAX} = T\left(\frac{V_A+V_B}{2}\right)$



$\frac{P - P_A}{P_B - P_A} = \frac{V - V_A}{V_B - V_A}$ $\boxed{P(V) = \frac{P_B - P_A}{V_B - V_A}(V - V_A) + P_A}$

$PV = mRT \rightarrow T = \frac{PV}{mR}$ $\boxed{T(V) = \left[\frac{P_A}{mR} + \frac{(P_B - P_A)(V - V_A)}{mR(V_B - V_A)}\right] V}$

$T(V) = \left[\frac{P_A}{mR} + \frac{(P_B - P_A)(-V_A)}{mR(V_B - V_A)} + V \cdot \frac{P_B - P_A}{mR(V_B - V_A)}\right] V$

$a = \frac{P_A(V_B - V_A) - V_A(P_B - P_A)}{mR(V_B - V_A)} = \frac{P_A V_B - P_A V_A - P_B V_A + P_A V_A}{mR(V_B - V_A)} = \frac{P_A V_B - P_B V_A}{mR(V_B - V_A)}$

$b = \frac{P_A - P_B}{mR(V_B - V_A)}$

$\boxed{T(V) = aV - bV^2}$ $T'(V) = a - 2bV$

$T'(V) = 0 \rightarrow V_0 = \frac{a}{2b} = \frac{P_A V_B - P_B V_A}{mR(V_B - V_A)} \cdot \frac{mR(V_B - V_A)}{2(P_A - P_B)} = \frac{P_A V_B - P_B V_A}{2(P_A - P_B)}$

IL MASSIMO V_0 DEVE COINCIDERE CON $\frac{V_A + V_B}{2}$

$V_0 = \frac{P_A V_B - P_B V_A}{2(P_A - P_B)} = \frac{V_A + V_B}{2}$

$P_A V_B - P_B V_A = P_A V_A + P_A V_B - P_B V_A - P_B V_B$

CONDIZIONE NECESSARIA $\boxed{P_A V_A = P_B V_B}$

T_{MAX} NELLA TRASFORMAZIONE A→B E' ASSUNTO IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO MEDIO DEL SEGMENTO AB

SE A E B HANNO LA STESSA TEMPERATURA

ES 10

T QUASISTATICA

SE GAS MONOATOMICO $\rightarrow$ $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$

DETERMINA $C = C(V)$

CALORE SPECIFICO

$\boxed{C = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_X}$

$Q = \Delta U + L$
$L = P\,\Delta V$
$\Delta V = m\,c_V\,\Delta T$

DOVE $\delta Q = PdV + dU = PdV + m\,c_V\,dT$

$C = \frac{P\,dV}{m\,dT} + \frac{m\,c_V\,dT}{m\,dT} = c_V + \frac{1}{m}\frac{P(V)}{T'(V)}$

$P(V) = \frac{P_B - P_A}{V_B - V_A}(V - V_A) + P_A$

$T(V) = \frac{P_A V_B - P_B V_A}{mR(V_B - V_A)} \cdot V - \frac{P_A - P_B}{mR(V_B - V_A)} V^2$

$\boxed{C(V) = R\left[\frac{3}{2} - \frac{P_A(V_B - V_A) + (P_B - P_A)(V - V_A)}{2(P_A - P_B)V + P_B V_A - P_A V_B}\right]}$

ES 11

CALCOLA IL CALORE SPECIFICO MOLARE DELLA SEGUENTE TRASFORMAZIONE

$VT^k = $ COSTANTE

$C = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_X = C_V + \frac{P}{m}\frac{dV}{dT}$

$PV = mRT \rightarrow P(T) = \frac{mRT\,T^k}{cost} = \frac{mRT^{k+1}}{cost}$

$VT^k = cost \rightarrow V(T) = cost\ T^{-k}$

$\frac{d}{dt}V(T) = cost\ -k\ T^{-k-1}$

$C = C_V + \frac{P(T) \cdot V'(T)}{m} = C_V - \frac{mRT^{k+1}\ cost\ k\ T^{-(k+1)}}{m\ cost}$

$\boxed{C = C_V - KR}$

CALORE SPECIFICO COSTANTE $\rightarrow$ TRASFORMAZIONE POLITROPICA

SPESSO C VARIA LUNGO LA TRASFORMAZIONE STESSA

ES 12

$M = 1$ MOL MONO

$T_1 = 300K$ $V_1 = 1m^3$

ESP ADIABATICA REV

$V_2 = 2m^3$

T_F, L_{GAS} ?

TRASFORMAZIONE ADIABATICA

$PV^\gamma = cost$

$P = \frac{mRT}{V} \rightarrow TV^{\gamma-1} = cost$

$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

CON $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3}$

TEMPERATURA FINALE (T_2)

$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 300K \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{3}-1} = 189K$

LAVORO COMPIUTO DAL GAS DIFFICILE DA CALCOLARE $\int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV$

SICCOME LA TRASFORMAZIONE E' ADIABATICA $\boxed{L = -\Delta U}$

$L = -m\,c_V\,\Delta T = -\frac{3}{2}R(189 - 300) = 1384\ J$

ES 13

GAS IDEALE

$M = 10$ MOL

$V_i = 1\ m^3$

GHIACCIO FONDENTE

$m_{GH} = 1{,}6\ kg$

$T_{GH} = 0°C$

COMPRESSIONE ISOTERMA (REV)

GAS IN RECIPIENTE ADIABATICO

CALCOLA V_F PER SCIOGLIERE TUTTO IL GHIACCIO

$\lambda_{FUS} = 3{,}33 \cdot 10^5\ J/kg$

TRASFORMAZIONE ISOTERMA REVERSIBILE $\rightarrow T = cost$, $\rightarrow \Delta U = 0\ J$, $\rightarrow P_i V_i = P_F V_F$ $Q = L$

IL CALORE SVILUPPATO E' UGUALE AL LAVORO

$Q_{GAS} = L = mRT\,ln\left(\frac{V_F}{V_i}\right)$

CALORE NECESSARIO PER SCIOGLIERE TUTTO IL GHIACCIO

$Q_{GH} = \lambda_{FUS} \cdot m_{GH}$

$Q_{CEDUTO} - Q_{ASSORBITO} = 0$

$-Q_{GAS} = Q_{GH}$

$-mRT\,ln\frac{V_F}{V_i} = \lambda_{FUS}\,m_{GH}$

$\frac{V_F}{V_i} = exp\left(-\frac{\lambda_{FUS}\,m_{GH}}{mRT}\right) \rightarrow \boxed{V_F = V_i\,e^{-\frac{\lambda_{FUS}\,m_{GH}}{mRT}}} = 0{,}23\ m^3$

ES 14

1 MOL GAS PERFETTO (MONO)

V_0, $T_0 = 300K$

ESPANSIONE $V_F = 2V_0$

TRASFORMAZIONE $P(V) = K e^{-\frac{V}{V_0}}$

CALCOLA T_F, Q

$P_0 = P(V_0) = K e^{-\frac{V_0}{V_0}} = \frac{K}{e}$

$P_F = P(V_F) = P(2V_0) = \frac{K}{e^2} = \frac{P_0}{e}$

$\begin{cases} P_0 \\ V_0 \\ T_0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} P_F = P_0/e \\ V_F = 2V_0 \\ T_F = \frac{2}{e}T_0 \end{cases}$

$P_0 V_0 = mRT_0 \rightarrow P_0 = \frac{mRT_0}{V_0}$

$P_F V_F = mRT_F \rightarrow T_F = \frac{P_F V_F}{mR} = \frac{2}{e}\frac{P_0 V_0}{mR} = \frac{2}{e}T_0 = 220{,}7\ K$

CALCOLO DEL CALORE

$\boxed{Q = \Delta U + L}$

$\Delta U = m\,c_V\,\Delta T = \frac{3}{2}mR(T_F - T_0) = \frac{3}{2}mRT_0\left(\frac{2}{e} - 1\right)$

$L = \int_{V_0}^{V_F} P(V)\,dV = \int_{V_0}^{V_F} K e^{-\frac{V}{V_0}}\,dV = K\left[-V_0\,e^{-\frac{V}{V_0}}\right]_{V_0}^{V_F} =$

$= -V_0 K\left(e^{-2} - e^{-1}\right) = \frac{V_0 K}{e}\left(1 - \frac{1}{e}\right)$

SOSTITUIAMO $\frac{K}{e} = P_0$ ALLORA $V_0 P_0 = mRT_0$

$L = mRT_0\left(1 - \frac{1}{e}\right)$

$\boxed{Q = \Delta U + L = mRT_0\left(\frac{2}{e} - 1\right)}$

ES 15

1 MOL GAS PERFETTO MONO

TRASFORMAZIONE REVERSIBILE

$C(T) = C_V + \alpha T$

$\alpha = 5 \cdot 10^{-2} \frac{J}{mol\,K^2}$

$\boxed{C = \frac{1}{n}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_X}$

$T_1 = 300K$ $T_2 = 450K$

$\boxed{Q = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot C(T) \cdot dT}$

CALCOLA Q, L

$Q = \int_{T_1}^{T_2} m\,C(T)\,dT = \int_{T_1}^{T_2} m\,(C_V + \alpha T)\,dT = m\left[C_V T + \frac{\alpha T^2}{2}\right]_{T_1}^{T_2}$

$= m\left(C_V T_2 + \frac{\alpha T_2^2}{2} - C_V T_1 - \frac{\alpha T_1^2}{2}\right) = m\,c_V(T_2 - T_1) + \frac{m\alpha}{2}(T_2^2 - T_1^2) = 4683\ J$

$\Delta U = m\,c_V\,\Delta T = m\,c_V(T_2 - T_1) = 1871\ J$

$\Delta V = Q - L \rightarrow L = Q - \Delta U = \frac{m\alpha}{2}(T_2^2 - T_1^2) = 2812\ J$

ES 16

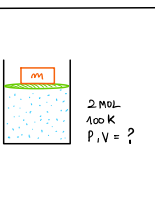
$M = 2$ MOL

GAS PERFETTO MONO

PARETI ADIABATICHE + PISTONE

$S = 10\ cm^2$ SEZIONE PISTONE

$m = 20Kg$ EQUILIBRIO A $T = 100K$



CALCOLA V SAPENDO CHE $P_{ATM} = 10^5 Pa$

$\boxed{P_{INT} = P_{EST}} = P_{ATM} + \frac{mg}{S} = 2{,}962 \cdot 10^5\ Pa$

$PV = mRT \rightarrow V = \frac{mRT}{P_{INT}} = 5{,}6 \cdot 10^{-3}\ m^3$

IL BLOCCO VIENE TOLTO E IL GAS RAGGIUNGE P_{ATM} CALCOLA TEMPERATURA T_2

RIMOSSO IL BLOCCO IL GAS SI TROVA IN UNO STATO DI NON - EQUILIBRIO

PARETI ADIABATICHE $\rightarrow$ TRASFORMAZIONE ADIABATICA IRREVERSIBILE

$Q = 0 \rightarrow \boxed{\Delta U = -L}$

$\Delta U = m\,c_V(T_2 - T_1)$

$L = \int_{V_1}^{V_2} P_{EST}\,dV = P_{EST}(V_2 - V_1)$ NEL CASO DI T. IRREVERSIBILE

$\begin{cases} m\,c_V(T_2 - T_1) = P_{EST}(V_1 - V_2) \\ V_2 = \frac{mRT_2}{P_{EST}} \end{cases}$

$m\,c_V\,T_2 - m\,c_V\,T_1 = P_{EST} V_1 - mRT_2$

$T_2(m\,c_V + mR) = P_{EST} V_1 + m\,c_V\,T_1$

$\boxed{T_2 = \frac{P_{EST} V_1 + m\,c_V\,T_1}{m(c_V + R)}} = 73{,}5K$

$\boxed{V_2 = \frac{mRT_2}{P_{EST}}} = 1{,}22 \cdot 10^{-2}\ m^3$

ES 17

GAS PERFETTO

T. REVERSIBILE

$\boxed{c = \frac{1}{n}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_X}$

$V(T) = V_0\,e^{\frac{TK}{R}}$

CALCOLA IL CALORE SPECIFICO $C(T)$

$\delta Q = dU + dL = m\,c_V\,dT + PdV$

$c = C_V + \frac{P}{m}\frac{dV}{dT}$

$c = C_V + \frac{P(T) \cdot V'(T)}{n}$

$P = \frac{mRT}{V}$

$P(T) = \frac{mRT}{V_0}\,e^{-\frac{TK}{R}}$

$V'(T) = V_0\,\frac{K}{R}\,e^{\frac{TK}{R}}$

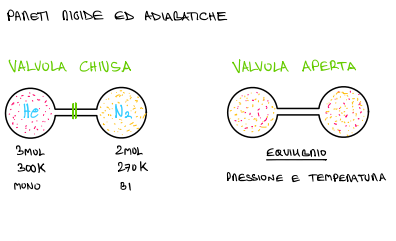
$c = C_V + \frac{P(T) \cdot V'(T)}{m} = C_V + \frac{mRT}{mV_0}\,\cancel{e^{-\frac{TK}{R}}}\,\frac{V_0 K}{R}\,\cancel{e^{\frac{TK}{R}}}$

$\boxed{c = C_V + KT}$

ES 18

PARETI RIGIDE ED ADIABATICHE

VALVOLA CHIUSA VALVOLA APERTA



He ELIO

$\begin{cases} V_{He} = V \\ T_{He} = 300K \\ P_{He} = \frac{M_{He} R\,T_{He}}{V} \end{cases}$

N_2 AZOTO MOLECOLARE

$\begin{cases} V_{N_2} = V \\ T_{N_2} = 270K \\ P_{N_2} = \frac{M_{N_2} R\,T_{N_2}}{V} \end{cases}$

$Q(He) - Q(N_2) = 0$

$M_{He}\,C_{V\,MONO}\,(T_{He} - T_{EQ}) = M_{N_2}\,C_{V\,BI}\,(T_{EQ} - T_{N_2})$

$M_{He}\,C_{V\,MONO}\,T_{He} - M_{He}\,C_{V\,MONO}\,T_{EQ} = M_{N_2}\,C_{V\,BI}\,T_{EQ} - M_{N_2}\,C_{V\,BI}\,T_{N_2}$

$T_{EQ}(M_{N_2}\,C_{V\,BI} + M_{He}\,C_{V\,MONO}) = M_{He}\,C_{V\,MONO}\,T_{He} - M_{N_2}\,C_{V\,BI}\,T_{N_2}$

$T_{EQ} = \frac{M_{He}\,C_{V\,MONO}\,T_{He} + M_{N_2}\,C_{V\,BI}\,T_{N_2}}{M_{N_2}\,C_{V\,BI} + M_{He}\,C_{V\,MONO}} = \frac{3M_{He}T_{He} + 5M_{N_2}T_{N_2}}{3M_{He} + 5M_{N_2}} = 284{,}2\ K$

ES 19

2 MOL GAS BI

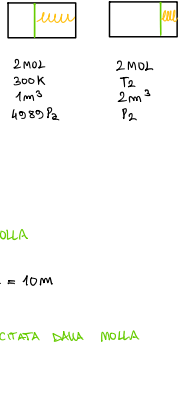
RECIPIENTE ADIABATICO

$S = 0{,}1\ m^2$

$K = 10\ N/m$

$V_1 = 1\ m^3$ $T_1 = 300K$

$V_2 = 2\ m^3$ $T_2 = ?$



CALORE FORNITO DA RESISTENZA ELETTRICA

$P_1 = \frac{mRT_1}{V_1} = 4989\ Pa$

CALCOLO L' ALLUNGAMENTO DELLA MOLLA

$\Delta V = V_2 - V_1 = 1\ m^3$

$S = 0{,}1\ m^2$ $\rightarrow \Delta x = \frac{\Delta V}{S} = 10m$

CALCOLO LA PRESSIONE P_2 ESERCITATA DALLA MOLLA

$F_{el} = K\,\Delta x = 100N$

$P_2 = P_1 + F_{el}/S = 5989\ Pa$

CALCOLO LA TEMPERATURA FINALE

$P_2 V_2 = mRT_2 \rightarrow T_2 = \frac{P_2 V_2}{mR} = 720{,}3\ K$

CON CHE FUNZIONE CAMBIA LA PRESSIONE ? P(V)

$P = \frac{K\,\Delta x}{S}$ PRESSIONE AD OGNI ISTANTE $P(\Delta x)$

X_1 $\boxed{\Delta x = X - X_1}$ POSIZIONE A RIPOSO DELLA MOLLA

$V = V_1 + S\,\Delta x$ VOLUME DEL GAS AD UNA GENERICA POSIZIONE X $V(\Delta x)$

$x = x_1 + \frac{V - V_1}{S} \rightarrow \boxed{P(V) = \frac{K}{S^2}(V - V_1 + Sx_1)}$

CONOSCENDO P_1 POSSIAMO RICAVARE X_1

$P_1 = \frac{mRT_1}{V_1} = \frac{KX_1}{S} \rightarrow \boxed{X_1 = \frac{mRT_1\,S}{V_1\,K}}$

CALORE CEDUTO DALLA RESISTENZA

$\Delta U = m\,c_V\,\Delta T = 17471\ J$

$L = \int_{V_1}^{V_F} P(V)\,dV = \int_{V_1}^{V_F} \frac{K}{S^2}\left(V - V_1 + \frac{mRT_1\,S^2}{V_1 K}\right)$

$= \int_{V_1}^{V_F} \left(\frac{K}{S^2}(V - V_1) + \frac{mRT_1}{V_1}\right) dV$

$= \frac{K}{2S^2}(V_2^2 - V_1^2) + \left(\frac{mRT_1}{V_1} - \frac{KV_1}{S^2}\right)(V_2 - V_1) = 5488\ J$

$Q = \Delta U + L = 22959\ J$

ES 20

RECIPIENTE ADIABATICO

$N = 2$ MOL GAS MONO

$P_0 = 2 \cdot 10^5\ Pa$ $T_0 = 300K$ $\rightarrow V_0 = \frac{mRT_0}{P_0}$

SOLIDO

$C = 30\ J/K$ $T_s = 800\ K$

$P_{GAS} = ?$

CALCOLO LA TEQUILIBRIO

$Q_{ASSORBITO} + Q_{CEDUTO} = 0$

$C(T_S - T_{EQ}) = m\,c_V(T_{EQ} - T_0)$

$CT_S - CT_{EQ} = m\,c_V\,T_{EQ} - m\,c_V\,T_0$

$T_{EQ}(C + m\,c_V) = CT_S + m\,c_V\,T_0$

$\boxed{T_{EQ} = \frac{CT_S + m\,c_V\,T_0}{C + m\,c_V}} = 573\ K$

IL RECIPIENTE E' RIGIDO IL VOLUME RIMANE COSTANTE DURANTE LA TRASFORMAZIONE

$P_2 = \frac{mRT_2}{V} = 3{,}82 \cdot 10^5\ Pa$

ES 21

MISCELA He - N_2

$V_F = 2V_i$

ESPANSIONE ADIABATICA REV $\frac{P_F}{P_i}$?

$m(He) = 2$ MOL

$m(N_2) = 3$ MOL

ADIABATICA REV $\rightarrow$ $Q = 0$, $PV^\gamma = cost$

$P_i V_i^\gamma = P_F V_F^\gamma$ $\frac{P_F}{P_i} = \left(\frac{V_i}{V_2}\right)^\gamma$

$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ DELLA MISCELA

$C_V = \frac{3m_{He} + 5m_{N_2}}{2(m_{He} + m_{N_2})} R = \frac{21}{10} R$

$C_P = \frac{5m_{He} + 7m_{N_2}}{2(m_{He} + m_{N_2})} R = C_V + R = \frac{31}{10} R$

$\boxed{\gamma = \frac{31}{21}}$ $\frac{P_F}{P_i} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{31}{21}} = 0{,}3594$

ES 22

VAPORIZZAZIONE ACQUA

$m = 0{,}1\ Kg$

$T = 100°C$

$P = P_{ATM}$

L ACQUA

ΔU ACQUA

$\lambda_{VAP} = 2{,}26 \cdot 10^6\ J/Kg$

$\rho_{VAP} = 0{,}6\ Kg/m^3$

IL LAVORO COMPIUTO DURANTE IL PASSAGGIO DI FASE DALL' ACQUA E' DOVUTO AL CAMBIAMENTO DEL VOLUME (CAMBIO DI DENSITA')

$L = P_{ATM}\,\Delta V = P_{ATM}\left(\frac{m}{\rho_{VAP}} - \frac{m}{\rho_{AQ}}\right) = 1{,}66 \cdot 10^4\ J$

$Q = m\,\lambda_V = 22{,}6 \cdot 10^4\ J$

$\Delta U = Q - L \cong 20{,}93 \cdot 10^4\ J$

ES 23

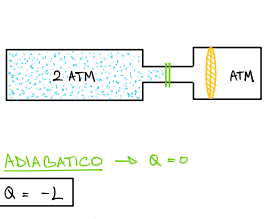
GAS IDEALE MONO

RECIPIENTE ADIABATICO $P = 2ATM$

DOPO VALVOLA PISTONE $P = 1ATM$

$T_1 = 300K$, $T_F = ?$

$\boxed{V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}}$



ADIABATICO $\rightarrow Q = 0$

$\boxed{Q = -L}$

$Q = m\,c_V(T_2 - T_1)$

$L = P_{EST}\,\Delta V = P_2(V_2 - V_1) = P_2\left(\frac{mRT_2}{P_2} - V_1\right)$

$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2}$

$m\,c_V\,T_2 - m\,c_V\,T_1 = -mRT_2 + P_2 V_1$

$T_2(m\,c_V + mR) = P_2 V_1 + m\,c_V\,T_1$

$T_2 = \frac{P_2 V_1 + m\,c_V\,T_1}{m\,c_V + mR} = \frac{\frac{P_2\,mRT_1}{P_1} + m\,c_V\,T_1}{m\,c_V + mR}$

$= \frac{T_1\left(\frac{P_2}{P_1}R + c_V\right)}{c_V + R} = \underline{240\ K}$

- SECONDO PRINCIPIO

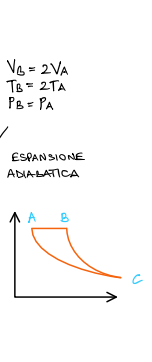
ES 1

GAS IDEALE BI

CICLO REV

$A \begin{cases} V_A \\ T_A \\ P_A \end{cases} \xrightarrow{\text{ESPANSIONE ISOBARA}} B \begin{cases} V_B = 2V_A \\ T_B = 2T_A \\ P_B = P_A \end{cases}$

COMPRESSIONE ISOTERMA $C \begin{cases} V_C = 3{,}03V_A \\ T_C = T_A \\ P_C = 0{,}33\,P_A \end{cases}$ ESPANSIONE ADIABATICA



CALCOLA IL RENDIMENTO DEL CICLO

$T_B = \frac{P_B V_B}{mR} = \frac{P_A\,2V_A}{mR} = 2T_A$

ADIABATICA REV $\rightarrow PV^\gamma = cost$, $TV^{\gamma-1} = cost$

$T_C V_C^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$

$V_C = V_B\sqrt[\gamma-1]{\frac{T_B}{T_C}} = 2V_A\sqrt[\gamma-1]{\frac{2T_A}{T_A}} = 2V_A\sqrt[\frac{2}{5}]{2} = 3{,}03\ V_A$

$P_C = \frac{mRT_C}{V_C} = 0{,}33\ P_A$

A→B ISOBARA

$\Delta U = m\,c_V\,\Delta T = m\,c_V(2T_A - T_A) = m\,c_V\,T_A$

$L = P\Delta V = P_A(2V_A - V_A) = P_A V_A = mRT_A$

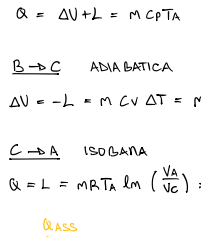
$Q = \Delta U + L = m\,c_P\,T_A$ ASSORBITO

B→C ADIABATICA $Q = 0$

$\Delta U = -L = m\,c_V\,\Delta T = m\,c_V(T_A - 2T_A) = -m\,c_V\,T_A$

C→A ISOBARA $\Delta U = 0$

$Q = L = mRT_A\,ln\left(\frac{V_A}{V_C}\right) = -mRT_A\,ln(3{,}03)$ CEDUTO



$\boxed{\eta = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}}}$

$Q_{ASS} = Q_{AB} = m\,c_P\,\Delta T = m\,c_P(T_B - T_A)$

$Q_{CED} = |Q_{CA}| = L_{AC} = mRT_A\,ln\left(\frac{V_C}{V_A}\right)$

$\eta = 1 - \frac{mRT_A\,ln\left(\frac{V_C}{V_A}\right)}{m\,c_P(T_B - T_A)} = 1 - \frac{R}{C_P\left(\frac{T_B}{T_A} - 1\right)}\,ln\left(\frac{V_C}{V_A}\right)$

$\frac{V_C}{V_A} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$

DOPO UN PO' DI SEMPLIFICAZIONI

$\eta = 1 - \left(\frac{V_B}{V_A} - 1\right)^{-1} ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \approx 0{,}307$

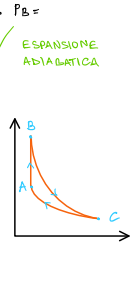
ES 2

GAS IDEALE BI

CICLO REV

$A \begin{cases} V_A \\ T_A \\ P_A \end{cases} \xrightarrow{\text{RISCALDAMENTO ISOCORO}} B \begin{cases} V_B = V_A \\ T_B = 2T_A \\ P_B = \end{cases}$

COMPRESSIONE ISOTERMA $C \begin{cases} V_C = \\ T_C = T_A \\ P_C = \end{cases}$ ESPANSIONE ADIABATICA



CALCOLA IL RENDIMENTO η

A→B

$\Delta V = 0 \rightarrow L = 0$

$\Delta U = Q = m\,c_V(T_B - T_A)$

B→C

$Q = 0$

C→A

$\Delta U = 0$

$Q = L = mRT_A\,ln\frac{V_A}{V_C}$

$T_C V_C^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$

$T_A V_C^{\gamma-1} = 2T_A V_A^{\gamma-1}$

$V_C = V_A\sqrt[\gamma-1]{2}$

$\eta = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}}$

$\eta = 1 - \frac{mRT_A\,ln\left(\frac{V_C}{V_A}\right)}{m\,c_V(T_B - T_A)} = 1 - \frac{RT_A\,ln\left(2^{\frac{1}{\gamma-1}}\right)}{C_V\,T_A} = 0{,}307$

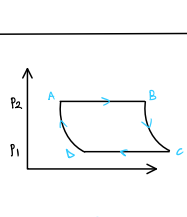
ES 3

GAS IDEALE MONO

CICLO MOTORE REV

2 ADIABATICHE

2 ISOBARE



CALCOLA RENDIMENTO IN FUNZIONE DI P_1, P_2

A→B

$Q = m\,c_P(T_A - T_B)$ ASSORBITO

D→A

$Q = m\,c_P(T_C - T_D)$ CEDUTO

$\eta = 1 - \frac{T_C - T_D}{T_A - T_B}$

$T_D = \frac{V_D P_D}{mR}$

$T_C = \frac{V_C P_C}{mR}$

$T_A = \frac{V_A P_A}{mR}$

$T_B = \frac{V_B P_B}{mR}$

$\rightarrow \eta = 1 - \frac{P_1(V_C - V_D)}{P_2(V_B - V_A)}$

ADIABATICHE

$P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$ $P_2 V_B^\gamma = P_1 V_C^\gamma$

$P_A V_A^\gamma = P_D V_D^\gamma$ $P_1 V_D^\gamma = P_2 V_A^\gamma$

$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^\gamma = \left(\frac{V_A}{V_D}\right)^\gamma \rightarrow \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_D}{V_C}$

$\eta = 1 - \frac{P_1}{P_2}\left(\frac{V_C}{V_B}\right)\frac{1 - V_D/V_C}{1 - V_A/V_B} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{2/5}$

ES 4

GAS IDEALE MONO

$A \begin{cases} T_A \\ V_A \\ P_A \end{cases} \xrightarrow{\text{ISOTERMA REVERSIBILE}} B \begin{cases} T_B = T_A \\ V_B = 2V_A \\ P_B = P_A/2 \end{cases}$

RISCALDAMENTO ISOBARO REVERSIBILE

ESPANSIONE ADIABATICA IRREVERSIBILE

$D \begin{cases} T_D = \frac{T_A}{2} \\ V_D = V_A/2 \\ P_D = P_A \end{cases}$ COMPRESSIONE ISOTERMA $C \begin{cases} T_C = \frac{T_A}{2} = \frac{T_A}{2} \\ V_C = 8V_B = 6V_A \\ P_C = P_A/12 \end{cases}$

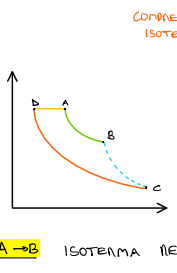


DIAGRAMMA P-V DELLA TRASFORMAZIONE

CALCOLA IL RENDIMENTO η

A→B ISOTERMA REV

$\Delta U = 0$

$L = Q = mRT_A\,ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) = mRT_A\,ln\,2$ CALORE ASSORBITO

B→C ADIABATICA NON REV

$Q = 0$

$\Delta U = -L = m\,c_V(T_C - T_B)$ NESSUN TRASFERIMENTO DI CALORE

C→D ISOTERMA REV

$\Delta U = 0$

$L = Q = mRT_C\,ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) = mR\frac{T_A}{2}\,ln\left(\frac{1}{12}\right) = -mRT_A\frac{ln\,12}{2}$ CALORE CEDUTO

D→A ISOBARA REV

$Q = m\,c_P(T_A - T_D) = \frac{m\,c_P\,T_A}{2}$ CALORE ASSORBITO

$\eta = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}} = 1 - \frac{mRT_A\frac{ln\,12}{2}}{mRT_A\,ln\,2 + \frac{m\,c_P\,T_A}{2}} = 0{,}3606$

ES 5 FRIGORIFERO

$T_1 = 0°C$

$T_2 = 40°C$ (AMB)

MACCHINA REVERSIBILE

$C = 0{,}15\ €/KWh$

QUANTO COSTA CONGELARE 100L DI ACQUA ?

REVERSIBILE $\rightarrow \Delta S = 0$ $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$

$Q_2 = \frac{T_2}{T_1} Q_1$

$L = Q_1 - Q_2 = Q_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$

CON $Q_1 = m\,\lambda_{FUS}$

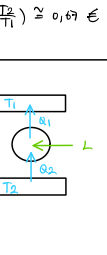
$€ = CL = C\,m\,\lambda_{FUS}\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \cong 0{,}57\ €$

ES 6 FRIGORIFERO

$T_2 = -3°C$

$T_1 = 27°C$

MINIMO LAVORO CHE OCCORRE SPENDERE PER TRASFERIRE 10 J



$Q_2 + L = Q_1$ $L = Q_1 - Q_2 = Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right) = 1{,}11\ J$

$\boxed{\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}} \rightarrow Q_1 = \frac{T_1}{T_2} Q_2$

ES 8

3 SORGENTI

$T_1 = 1000\ K$

$T_2 = 800\ K$

$T_3 = 500\ K$

$\eta \leq 0{,}5$?

CICLO REVERSIBILE

$-\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$

$Q_3 = \frac{T_3}{T_1}Q_1 + \frac{T_3}{T_2}Q_2$

IL RENDIMENTO E' DATO DA

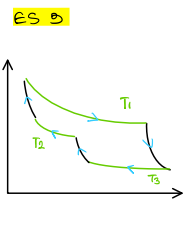
$\eta = 1 - \frac{Q_3}{Q_2 + Q_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2 T_1}\boxed{\frac{T_2 Q_1 + T_1 Q_2}{Q_1 + Q_2}}$ MEDIA PESATA SU T_1 E T_2

$T_2 \leq \frac{T_2 Q_1 + T_1 Q_2}{Q_1 + Q_2} \leq T_1$

$\boxed{1 - \frac{T_3}{T_2} \leq \eta \leq 1 - \frac{T_3}{T_1}}$

0,375 0,5

ES 9



3 SORGENTI

T_1 CEDE, T_2 T_3 ASSORBONO

CICLO REVERSIBILE

3 ISOTERME

3 ADIABATICHE

CICLO $\Delta S = 0$ $-\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$ $Q_1 = \frac{T_1}{T_2}Q_2 + \frac{T_1}{T_3}Q_3$

$\eta = 1 - \frac{Q_2 + Q_3}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 T_3}{T_1}\ \frac{Q_2 + Q_3}{T_3 Q_2 + T_2 Q_3}$

$T_3 < \frac{T_3 Q_2 + T_2 Q_3}{Q_2 + Q_3} < T_2 \rightarrow \boxed{1 - \frac{T_2}{T_1} < \eta < 1 - \frac{T_3}{T_1}}$

ES 10 3 SORGENTI

$T_1 = 1000K$ $Q_1 = +1000\ CAL$

$T_2 = 600K$ $Q_2 = -500\ CAL$

$T_3 = 500K$ $Q_3 = -50\ CAL$

PUO' ESISTERE UNA TRASFORMAZIONE CICLICA CON QUESTE PROPRIETA' ?

TRASFORMAZIONE ESISTE SE $\Delta S \geq 0$

$-\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} = -0{,}066\ CAL/K$ IMPOSSIBILE

ES 11

2 ADIABATICHE NON SI INCONTRANO MAI NEL PIANO PV

SE PER ASSURDO SI INCONTRASSERO, SI POTREBBE DEFINIRE UN CICLO CON 2 ADIABATICHE ED UNA ISOTERMA CHE CREA LAVORO POSITIVO L DA UNA SOLA SORGENTE DI CALORE

TALE CICLO VIOLA L' ENUNCIATO DI KELVIN

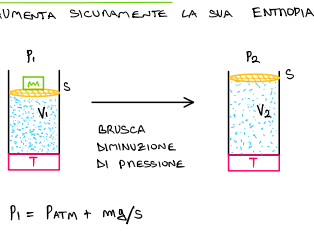
II PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

ES 12

QUANDO UN SISTEMA ASSORBE CALORE LA SUA T AUMENTA ?

NON NECESSARIAMENTE

AUMENTA SICURAMENTE LA SUA ENTROPIA



$P_1 = P_{ATM} + mg/S$

$P_2 = P_{ATM}$

IL GAS DURANTE L' ESPANSIONE E' ATTACCATO AL TERMOSTATO T_1 LA SUA TEMPERATURA NON CAMBIA

$Q = L = P_{EST}(V_2 - V_1)$ ABBIAMO RISCALDATO IL GAS SENZA FARNE VARIARE T

$Q = \Delta U + L$

IL CALORE ASSORBITO PUO' ESSERE USATO IN 2 MODI: O PER CREARE LAVORO O PER AUMENTARE LA TEMPERATURA

TOGLIESSIMO IL TERMOSTATO IL GAS SI ESPANDEREBBE SPENDENDO LA SUA ENERGIA INTERNA

$Q = 0 \rightarrow$ $L = -\Delta U = P_{EST}(V_2 - V_1)$, $\Delta U = m\,c_V(T_2 - T_1)$ IL GAS GAS VARIA LA SUA TEMPERATURA SENZA ASSORBIRE O CEDERE CALORE

QUANDO UN SISTEMA ASSORBE CALORE S_{SIS} AUMENTA ?

SEMPRE VERA

$\Delta S_{SIST} + \Delta S_{SORG} \geq 0$

$\Delta S_{SIST} \geq \frac{Q}{T}$

QUANDO UN SISTEMA CEDE CALORE S_{SIS} DIMINUISCE ?

NON NECESSARIAMENTE

$\Delta S_{SIST} \geq \frac{|Q|}{T}$

NON PUO' ESSERE INFERIORE A QUESTA QUANTITA'

FORMULA UN CONTROESEMPIO

GAS CHE CEDE Q E AUMENTA S_{SIST}

ES 13 MACCHINA FRIGORIFERA

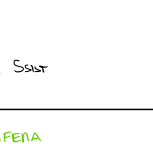
4 CICLI AL SECONDO

$P = 1{,}2\ KW$

CICLI IRREVERSIBILI

$T_1 = 300K$ $T_2 = 250K$

$\Delta S_{CICLO} = +0{,}4\ J/K$



TEMPO NECESSARIO PER SOTTRARRE DA Q_2 250KJ

QUANTO DURA UN CICLO ?

4 CICLI A SECONDO $\Delta t_{CICLO} = 0{,}25\ s$

$L = P\,\Delta t = 300\ J \rightarrow$ LAVORO AD OGNI CICLO

CICLO IRREVERSIBILE $+\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = \Delta S_{CICLO}$

$Q_1 = \left(\Delta S_{CICLO} + \frac{Q_2}{T_2}\right) T_1$

$L = Q_1 - Q_2 = \Delta S_C T_1 + \frac{Q_2}{T_2} T_1 - Q_2$

$Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right) = L - \Delta S_C T_1$

$Q_2 = \frac{L - \Delta S_C T_1}{\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)} = 900\ J \rightarrow$ CALORE ESTRATTO DA Q_2 AD OGNI CICLO

QUANTI CICLI SERVONO ?

$N = \frac{Q_{TOTALE}}{Q_2} = [277{,}7] = 278$ CICLI

$T_{TOTALE} = N\,\Delta t = 69{,}44\ s$

ES 14

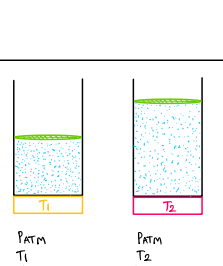
RECIPIENTE CILINDRICO

3 MOL GAS PERFETTO BI PARETI ADIABATICHE BASE DIATERMICA

PISTONE ADIABATICO (NO ATTRITO) NO PESO, LIBERO DI SCORRERE

$P_1 = P_{ATM}$ $T_1 = 300K$

SE $T_2 = 400K$



ΔS_{GAS}

ΔS_{TERM} ?

ΔS_{UNI}

ΔU, L

CALCOLO IL VOLUME INIZIALE V_1

$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = 0{,}0738\ m^3$

CALCOLO IL VOLUME FINALE V_2

$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = 0{,}0985\ m^3$

TRASFORMAZIONE 1→2

$\Delta U = m\,c_V\,\Delta T = m\frac{5}{2}R(T_2 - T_1) = +6235\ J$

$L = P_{EST}\,\Delta V = P_{ATM}(V_2 - V_1) = +2492\ J$

$Q = \Delta U + L = 8727\ J$ [POTEVA ESSERE CALCOLATO CON $Q = n\,C_P\,\Delta T$]

STUDIO L' ENTROPIA

$\Delta S_{GAS} = mR\,ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + m\,c_V\,ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 25{,}10\ \frac{J}{K}$

$\Delta S_{TERM} = -\frac{Q}{T_2} = -21{,}82\ J/K$

$\Delta S_{UNI} = \Delta S_{GAS} + \Delta S_{TERM} = +3{,}28\ J/K$

FORMULA GENERICA PER CALCOLARE L' ENTROPIA TOTALE DI UN GAS

$\boxed{\Delta S_{GAS} = mR\,ln\frac{V_F}{V_i} + m\,c_V\,ln\frac{T_F}{T_i}}$

ES 16

CUBETTO DI GHIACCIO FONDENTE

$m_{GH} = 15g$ $T_{GH} = 0°C$

$M_{AR} = 100g$ $T_{AR} = 20°C$

CALCOLA ΔS_{UNIV}

$m_{AR}\,C_{AR}\,(T_{AR} - T_{EQ}) = m_{GH}\,\lambda_F + m_{GH}\,C_{GH}\,(T_{EQ} - T_0)$

$m_{AR}\,C_{AR}\,T_{AR} - m_{AR}\,C_{AR}\,T_{EQ} = m_{GH}\,\lambda_F + m_{GH}\,C_{GH}\,T_{EQ}$

$T_{EQ}(C_{AR}\,m_{AR} + C_{GH}\,m_{GH}) = m_{AR}\,C_{AR}\,T_A - m_{GH}\,\lambda_F$

$\boxed{T_{EQ} = \frac{m_{AR}\,C_{AR}\,T_A - m_{GH}\,\lambda_F}{m_{AR}\,C_{AR} + m_{GH}\,C_{GH}}} = 7{,}5°C$

$\Delta S_{AR} = m_{AR}\,C_{AR}\,ln\left(\frac{T_{EQ}}{T_{AR}}\right) = -13{,}24\ J/K$

$\Delta S_{GH} = m_{GH}\,C_{GH}\,ln\left(\frac{T_{EQ}}{T_{GH}}\right) = +0{,}83\ J/K$

$\Delta S_{UNI} = \Delta S_{AR} + \Delta S_{GH} + \frac{m_{GH}\,\lambda_F}{T_0} = 0{,}896\ J/K$

BISOGNA CONSIDERARE ANCHE IL PASSAGGIO DI STATO (FUSIONE)

ES 17

CILINDRO A PARETI ADIABATICHE

$S = 0{,}1\ m^2$ PISTONE MOBILE

BASE CILINDRO DIATERMANA

TERMOSTATO

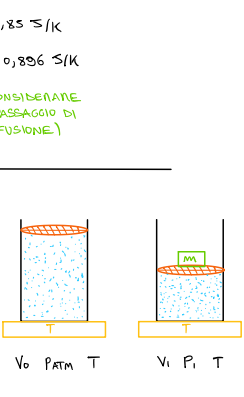
GHIACCIO FONDENTE $T = 0°C$

GAS IDEALE

$N = 2$ MOL

$P_0 = 10^5\ Pa$

$V_{GAS} = ?$



$\rightarrow V_0 = \frac{mRT}{P_0} = 0{,}0454\ m^3$

APPOGGIO $M = 500Kg$

m DEL GHIACCIO FUSA ?

PRESSIONE FINALE P_1 $P_1 = P_{ATM} + \frac{mg}{S} = 1{,}49 \cdot 10^5\ Pa$

VOLUME FINALE V_1 $V_1 = \frac{mRT}{P_1} = 0{,}0305\ m^3$

QUANTITA' TERMODINAMICHE

$T_{COST} \rightarrow \Delta U = 0$

$Q = L = -P_{EST}\,\Delta V = -P_1(V_1 - V_0) = 2220$

QUANTO GHIACCIO SCIOGLIE QUESTO CALORE ?

$Q = m\,\lambda_F \rightarrow m = \frac{Q}{\lambda_F} = 6{,}67 \cdot 10^{-3}\ Kg = 6{,}67g$

VARIAZIONI DI ENTROPIA ? ΔS_{GAS}, ΔS_{GH}, ΔS_{UNI}

$\Delta S_{GAS} = mR\,ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) + \cancel{m\,c_V\,ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)} = -6{,}61\ \frac{J}{K}$

$\Delta S_{GHIACCIO} = \frac{m\,\lambda_F}{T_0} = +8{,}21\ \frac{J}{K}$

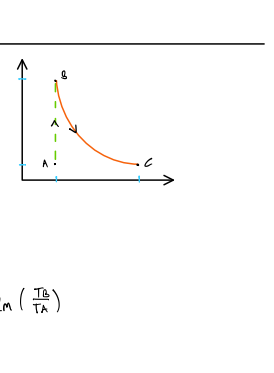
$\Delta S_{UNI} = 1{,}617\ J/K$

ES 18

GAS PERFETTO MONO RISCALDATO A V COSTANTE

T_A, $T_B = 500\ K$

$\Delta S_{GAS} = +3\ J/K$



IL GAS TORNA A P_i TRAMITE UNA TRASFORMAZIONE REVERSIBILE, CALCOLA L

$\Delta S_{GAS} = mR\,ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) + m\,c_V\,ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right)$

$ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right) = \frac{3}{m\,c_V}$

$T_A = T_B\,e^{-\frac{3}{m\,c_V}}$

A→B ISOCORA

$\Delta V = 0$ $L = 0$

SAPENDO CHE:

$P_A = \frac{mRT_A}{V}$

$P_B = \frac{mRT_B}{V}$

B→C ISOTERMA

$\Delta T = 0$ $\Delta U = 0$

$Q = L = mRT_B\,ln\left(\frac{V_C}{V_B}\right)$

$V_C P_C = V_B P_B$ $\frac{V_C}{V_B} = \frac{P_B}{P_C} = \frac{P_B}{P_A} = \frac{mRT_B}{V} \cdot \frac{V}{mRT_A} = \frac{T_B}{T_A}$

CALCOLO IL LAVORO

$L = mRT_B\,ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right) = mRT_B\,ln\left(e^{\frac{\Delta S_{GAS}}{m\,c_V}}\right)$

$= \frac{mRT_B\,\Delta S_{GAS}}{m\,c_V} = 1000\ J$

ES 19

2 CORPI SOLIDI

$C = 1000\ J/Kg$

$T_1 = 100K$ $T_2 = 300K$

RAGGIUNGONO EQUILIBRIO

ΔS_1 ΔS_2 ΔS_{UNI}

CALCOLO DELL' EQUILIBRIO

$CT_1 + CT_2 = 2T_{EQ}C$

$T_{EQ} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 200K$

CALCOLO DELLE ENTROPIE

$\Delta S_1 = C\,ln\left(\frac{T_{EQ}}{T_1}\right) = 693{,}14\ J/K$

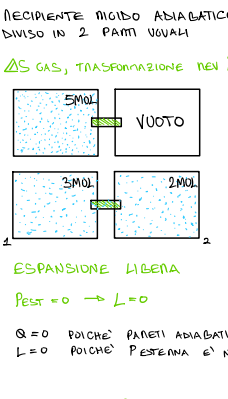
$\Delta S_2 = C\,ln\left(\frac{T_{EQ}}{T_2}\right) = -405{,}47\ J/K$

$\Delta S_{UNI} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 287{,}67\ J/K$

ES 20 ESPANSIONE LIBERA

RECIPIENTE RIGIDO ADIABATICO DIVISO IN 2 PARTI UGUALI

ΔS GAS, TRASFORMAZIONE REV ?



ESPANSIONE LIBERA

$P_{EST} = 0 \rightarrow L = 0$

$Q = 0$ POICHE' PARETI ADIABATICHE

$L = 0$ POICHE' P ESTERNA E' NULLA

$\rightarrow \Delta U = 0$ $T_i = T_F$

IL GAS SI ESPANDE SENZA VARIARE LA PROPRIA ENERGIA INTERNA LA TEMPERATURA NON CAMBIA

$\boxed{M = M_1 + M_2}$

1 → SINISTRA (3 MOL)

2 → DESTRA (2 MOL)

$V_{1,i} = \frac{M_1}{M_1 + M_2} V$ $V_{1,F} = V$

$V_{2,i} = \frac{M_2}{M_1 + M_2} V$ $V_{2,F} = V$

$\Delta S_1 = M_1 R\,ln\left(\frac{V_{1,F}}{V_{1,i}}\right) = M_1 R\,ln\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1}\right) = +12{,}74\ J/K$

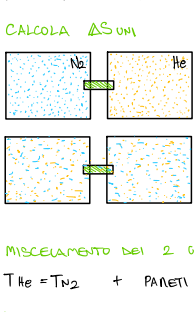
$\Delta S_2 = M_2 R\,ln\left(\frac{V_{2,F}}{V_{2,i}}\right) = M_2 R\,ln\left(\frac{M_1 + M_2}{M_2}\right) = +15{,}24\ J/K$

$\Delta S_{UNI} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 27{,}98\ \frac{J}{K}$

ES 21

RECIPIENTE RIGIDO ED ADIABATICO DIVISO IN 2 VOLUMI UGUALI V

CALCOLA ΔS_{UNI}



$V_{He} = V_{N_2}$

$M_{He} = M_{N_2}$ $\rightarrow P_{He} = P_{N_2}$

$T_{He} = T_{N_2}$

MISCELAMENTO DEI 2 GAS

$T_{He} = T_{N_2}$ + PARETI ADIABATICHE $\rightarrow \boxed{\Delta U = Q = L = 0}$

DOPO IL MISCELAMENTO He E N_2 OCCUPANO TUTTO LO SPAZIO DISPONIBILE

$V_i = V$ $V_F = 2V$

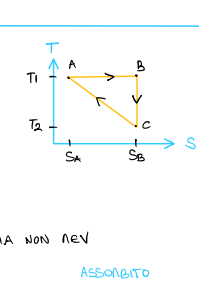
$\Delta S_{UNI} = \Delta S_{He} + \Delta S_{N_2} = 2\,mR\,ln\left(\frac{2V}{V}\right) = 2\,mR\,ln\,2 = 34{,}58\ \frac{J}{K}$

SE LE MOLECOLE FOSSERO UGUALI NON CI SAREBBE MISCELAMENTO $\Delta S_{UNI} = 0$

ES 22

MACCHINA TERMICA CICLO REVERSIBILE

CALCOLA η IN FUNZIONE DI T_1 E T_2



A→B ISOTERMA NON REV

$Q = T_1(S_B - S_A)$ ASSORBITO

$\Delta U = 0$

B→C ENTROPIA COSTANTE

$Q = 0$

C→A T E S VARIABILI

$Q = -\frac{1}{2}(T_1 - T_2)(S_B - S_A)$ CEDUTO

$\eta = 1 - \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}} = 1 - \frac{(T_1 - T_2)(S_B - S_A)}{2\,T_1(S_B - S_A)} = 1 - \frac{1}{2}\left(1 + \frac{T_2}{T_1}\right)$