

I

Généralités

Equation d'état

$$F(P, V, T) = 0$$

P est la pression**V** est le volume**T** est la température

Variables intensives

Elles ne dépendent pas de la masse (P, T,...)

Variables extensives

Elles dépendent de la masse (V, U,...)

Transformation isotherme

$$T = \text{Constante}$$

Transformation isobare

$$P = \text{Constante}$$

Transformation isochore

$$V = \text{Constante}$$

Coefficients thermo-élastiques α, χ_T, β et ξ

$$dV = \alpha V dT - \chi_T V dP = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP, dP = \beta P dT - \xi P dV = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T dV$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T, \beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V, \xi = -\frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$$

Forme différentielle des fonctions d'états

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P = 1, \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 1, \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V = 1$$

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP,$$

$$dT = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P dV + \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V dP$$

$$dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T dV$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -1 \text{ (identité de reech)}$$

II

Calorimétrie et thermométrie

Echelle centésimale : $\frac{1}{100}$

Echelles de température

Echelle Kelvin : $T(K) = 273.15 \cdot \theta(^{\circ}C)$

Echelle Fahrenheit

 $\theta_0 = 32^{\circ}F$ pour la glace fondante et $\theta_{100} = 212^{\circ}F$ pour l'eau bouillante

Echelle Rankine

$$R(\text{degrés Rankine}) = F(\text{degrés Fahrenheit}) + 460$$

Principe zéro de la thermodynamique

C'est le principe qui définit l'équilibre

Notion de chaleur

 Q_A (chaleur perdue par le corps A) + Q_B (chaleur recue par le corps B) = 0

Chaleur massique d'un solide

$$(m_0 + \mu_0)c_0(\theta_f - \theta_0) + m_1c(\theta_f - \theta_1) = 0$$

$$\Rightarrow \mu_0 = -\frac{(m_0 + \mu_0)c_0(\theta_f - \theta_0)c_0}{m_1(\theta_f - \theta_1)}$$

Mesures calorimétriques par la méthode électrique

$$J = \frac{W_e}{Q} = \frac{U I \Delta t}{(m_0 + \mu_0)c_0(\theta_f - \theta_0)}$$

Transfert de chaleur

Par conduction
Par convection
Par rayonnement

Chaleur massique c

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1)$$

Chaleur latente L

$$Q = mL$$

Capacité calorifique: C =

$$mc$$

Capacité calorifique molaire :

$$C = Mc$$

Valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires

$$(m_0 + \mu_0)(\theta_f - \theta_0) + m_1(\theta_f - \theta_1) = 0$$

$$\Rightarrow \mu_0 = -\frac{\theta_f - \theta_1}{\theta_f - \theta_0} m_1 - m_0$$

III

Premier principe de la thermodynamique

Loi de BOYLE-MARIOTTE

$$PV = Cte$$

Loi de CHARLES

$$\frac{P}{T} = Cte$$

Loi de GAY-LUSSAC

$$\frac{V}{T} = Cte$$

Principe d'équivalence

$$Q + W = 0$$

Quantité de chaleur à volume constante $\Delta U = Q_V$ Quantité de chaleur à pression constante $\Delta H = Q_P$

Forme différentielle du travail et de la chaleur

$$\delta Q = mc_V dT + l dV, \delta Q = mc_P dT + m h dP, \delta Q = m \lambda dP + \mu dV$$

1^{er} principe de la thermodynamique

$$\Delta U = Q + W$$

1^{er} loi de Joule

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = l - P = 0$$

2^{ème} loi de Joule

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_V = m h + V = 0$$

Relation de MAYER

$$M(c_P - c_V) = R$$

$$c_V = \frac{R}{M(\gamma - 1)}$$

$$c_P = \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)}$$

$$C_V = mc_V$$

$$C_P = mc_P$$

$$\gamma = c_P / c_V$$

Equations de LAPLACE

$$PV^\gamma = Cte, TV^{\gamma-1} = Cte, VP^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = Cte$$

L'équation de gaz parfait

$$PV = nRT$$

Bilans énergétiques

Transformation Isotherme

$$T = Cte$$

Travail

$$\begin{aligned} W_{AB} &= \int \delta W = - \int P dV \\ &= -nRT_A \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = \\ &= -nRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) \end{aligned}$$

Quantité de chaleur

$$Q_{AB} = -W_{AB}$$

L'énergie interne

$$\Delta U_{AB} = 0$$

Transformation Isobare

$$P = Cte$$

Travail

$$\begin{aligned} W_{AB} &= \int \delta W = - \int P dV = \\ &= -P_A \int_{V_A}^{V_B} dV = -P_A(V_B - V_A) \end{aligned}$$

Quantité de chaleur

$$\begin{aligned} Q_{AB} &= C_P \Delta T \\ &= \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)} (T_B - T_A) \end{aligned}$$

L'énergie interne

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} + W_{AB}$$

Transformation Isochore

$$V = Cte$$

Travail

$$W_{AB} = 0$$

Quantité de chaleur

$$\begin{aligned} Q_{AB} &= C_V \Delta T \\ &= \frac{R}{M(\gamma - 1)} (T_B - T_A) \end{aligned}$$

L'énergie interne

$$\Delta U_{AB} = C_V \Delta T$$

Transformation adiabatique

$$PV^\gamma = Cte$$

Travail

Quantité de chaleur

$$Q_{AB} = 0$$

L'énergie interne

IV Deuxième principe de la thermodynamique

**Egalité de
CLAUSIUS-CARNOT**

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

Inégalité de CLAUSIUS

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} &\leq 0 \quad \blacktriangleright \quad (=0 \text{ si le cycle est réversible}) \\ &\quad \blacktriangleright \quad (<0 \text{ si le cycle est irréversible}) \end{aligned}$$

Rendement d'un moteur

$$r = \frac{|W_{tot}|}{Q_1} = \frac{|-(Q_1 + Q_2)|}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$$

Rendement d'un moteur réversible

$$r_{rev} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

**Rendement d'un
moteur irréversible**

$$r_{irr} < r_{rev}$$

Efficacité d'une machine frigorifique

$$e_F = \frac{Q_2}{W_{tot}} = \frac{1}{1 + \frac{Q_1}{Q_2}}$$

**Efficacité d'une machine
frigorifique réversible**

$$e_{Frév} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

**Efficacité d'une machine
frigorifique irréversible**

$$e_{Firr} < \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Efficacité d'une pompe à chaleur

$$e_p = \frac{|Q_1|}{W_{tot}} = \frac{1}{1 + \frac{Q_2}{Q_1}}$$

**Efficacité d'une pompe à
chaleur réversible**

$$e_{prév} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

**Efficacité d'une pompe à
chaleur irréversible**

$$e_{pirr} < \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Entropie (cas réversible)

$$\Delta S = S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$$

Entropie (cas irréversible)

$$dS = dS_e + dS_i$$

2^{ème} principe de la thermodynamique
C'est le principe de transformation de
l'énergie