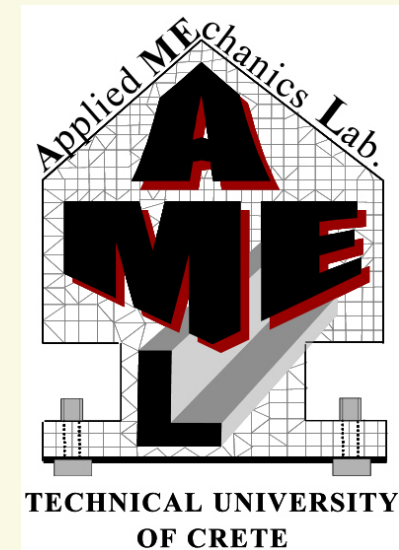


Τεχνική Θερμοδυναμική

Ισορροπία φάσεων

Αλέξανδρος Δ. Γκότσης
Πολυτεχνείο Κρήτης
gotsis@isc.tuc.gr

21 Μαΐου, 2021



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



Μίγματα αερίων

μάζα $m = \sum_{i=1}^k m_i$

κλάσμα μάζας $(mf_i =) w_i = \frac{m_i}{m}$ γραμμ. κλάσμα $y_i = \frac{N_i}{N}$

σταθερά αερίου $R_m = \frac{R_u}{\sum y_i M_i}$

$$\sum w_i = 1 \quad \sum y_i = 1$$

Μίγματα αερίων: $P - v - T$

Νόμος του Dalton $P_m = \sum P_i(T, V)$

Νόμος του Amagat $V = \sum V_i(T, P)$

Ιδανικά αέρια: $\frac{P_i}{P} = \frac{N_i R_u T / V}{N R_u T / V} = \frac{N_i}{N} = y_i$

$$\frac{V_i}{V} = y_i$$

$P_i = y_i P$ είναι η **μερική πίεση** και $V_i = y_i V$ είναι ο **μερικός όγκος**

Μίγματα πραγματικών αερίων

Παράγοντας συμπιεστότητας:

$$Z_m = \sum y_i Z_i$$

Κανόνας του Kay (ψευδοκρίσιμη θερμοκρασία και πίεση για το μίγμα):

$$P_{c,m} = \sum y_i P_{c,i} \quad \text{και} \quad T_{c,m} = \sum y_i T_{c,i}$$

Ιδιότητες μιγμάτων ιδανικών αερίων

$$U = \sum U_i = \sum m_i u_i = \sum N_i \bar{u}_i$$

$$H = \sum H_i = \sum m_i h_i = \sum N_i \bar{h}_i$$

$$S = \sum S_i = \sum m_i s_i = \sum N_i \bar{s}_i$$

Αλλά $\Delta s_i = s_{i,2}^0 - s_{i,1}^0 - R_i \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}} \cong C_{p,i} \ln \frac{T_{i,2}}{T_{i,1}} - R_i \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}}$

$$\bar{u} = \sum y_i \bar{u}_i \quad \bar{h} = \sum y_i \bar{h}_i \quad \bar{s} = \sum y_i \bar{s}_i$$

$$\bar{C}_v = \sum y_i \bar{C}_{v,i} \quad \bar{C}_p = \sum y_i \bar{C}_{p,i}$$

Ιδανικό μίγμα πραγματικών αερίων:

$$\text{για το μίγμα:} \quad dh = T ds + v dP$$

$$d \left(\sum w_i h_i \right) = T d \left(\sum w_i s_i \right) + \left(\sum w_i v_i \right) dP$$

$$\sum w_i (dh_i - T ds_i - v_i dP) = 0$$

$$dh_i = T ds_i + v_i dP$$

Οι γενικευμένες σχέσεις (π.χ., $Z(T_R, P_R)$) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα συστατικά των μιγμάτων.

Οι σχέσεις των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων για μίγμα m συστατικών

Ελεύθερη ενέργεια Gibbs μίγματος: $G = G(P, T, n_1, n_2, n_3, \dots, n_m)$

$$dg_i = v_i dP - s_i dT \quad \Rightarrow \quad dG = \left. \frac{\partial G}{\partial P} \right|_{T,n} dP + \left. \frac{\partial G}{\partial T} \right|_{P,n} dT + \sum_i \left. \frac{\partial G}{\partial n_i} \right|_{P,T,n_j} dn_i \quad i \neq j$$

Θέτοντας : $\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{P,T,n_j}$ καταλήγουμε : $dG = V dP - S dT + \sum_i \mu_i dn_i$

Το μ_i λέγεται χημικό δυναμικό (chemical potential) του συστατικού i στο μίγμα:

εντατική ιδιότητα $\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{P,T,n_j} = \tilde{g}_i = \tilde{h}_i - T \tilde{s}_i = f(T, P, n_j)$

Ολικό διαφορικό του χημικού δυναμικού:

$$d\mu_i = d\tilde{g}_i = \left. \frac{\partial \mu_i}{\partial P} \right|_{T,y} dP + \left. \frac{\partial \mu_i}{\partial T} \right|_{P,y} dT + \sum_i \left. \frac{\partial \mu_i}{\partial y_i} \right|_{P,T,y_j} dy_i$$

$$d\mu_i = \tilde{v}_i dP - \tilde{s}_i dT + \sum_i \left. \frac{\partial \mu_i}{\partial y_i} \right|_{P,T,y_j} dy_i$$

Μίγμα σταθερής σύστασης σε ισόθερμες διεργασίες:

$$d\mu_i = \tilde{v}_i dP$$

Μεταβολές εκτατικών ιδιοτήτων κατά την ανάμιξη:

$$\Delta V_m = \sum_i N_i(\tilde{v}_i - \bar{v}_i), \quad \Delta H_m = \sum_i N_i(\tilde{h}_i - \bar{h}_i), \quad \Delta S_m = \sum_i N_i(\tilde{s}_i - \bar{s}_i)$$

$\Delta H_m, \quad \Delta S_m$: Εθαλπία και εντροπία ανάμιξης πραγματικών αερίων

Εντατικές ιδιότητες μίγματος:

$$\bar{v} = \sum_i y_i \tilde{v}_i, \quad \bar{h} = \sum_i y_i \tilde{h}_i, \quad \bar{s} = \sum_i y_i \tilde{s}_i$$

Θερμοδυναμικές ιδιότητες μιγμάτων

$$U = \int_0^P \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P,n_T} \right] dP - PV + \sum_i n_i \bar{h}_i^0$$

$$H = \int_0^P \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P,n_T} \right] dP + \sum_i n_i \bar{h}_i^0$$

$$A = \int_0^P \left[V - \frac{n_T RT}{P} \right] dP + RT \sum_i n_i \ln y_i P - PV + \sum_i n_i (\bar{h}_i^0 - T \bar{s}_i^0)$$

$$G = \int_0^P \left[V - \frac{n_T RT}{P} \right] dP + RT \sum_i n_i \ln y_i P + \sum_i n_i (\bar{h}_i^0 - T \bar{s}_i^0)$$

$$S = \int_0^P \left[\frac{n_T R}{P} - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P,n_T} \right] dP - R \sum_i n_i \ln y_i P + \sum_i n_i \bar{s}_i^0$$

$$U = \int_V^\infty \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V,n_T} \right] dV + \sum_i n_i \bar{u}_i^0$$

$$H = \int_V^\infty \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V,n_T} \right] dV + PV + \sum_i n_i \bar{u}_i^0$$

$$A = \int_V^\infty \left[P - \frac{n_T RT}{V} \right] dV - RT \sum_i n_i \ln \frac{V}{n_i RT} + \sum_i n_i (\bar{u}_i^0 - T \bar{s}_i^0)$$

$$G = \int_V^\infty \left[P - \frac{n_T RT}{V} \right] dV - RT \sum_i n_i \ln \frac{V}{n_i RT} + PV + \sum_i n_i (\bar{u}_i^0 - T \bar{s}_i^0)$$

$$S = \int_V^\infty \left[\frac{n_T R}{V} - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V,n_T} \right] dV + R \sum_i n_i \ln \frac{V}{n_i RT} + \sum_i n_i \bar{s}_i^0$$

Χημικό Δυναμικό

$$dU = TdS - PdV + \sum_i \mu_i dn_i$$

Ολοκληρώνοντας από κατάσταση μηδενικής μάζας στην κατάσταση της επιθυμητής μάζας σε σταθερά T , P και σύσταση:

$$U = TS - PV + \sum_i \mu_i n_i$$

Πάλι πίσω στο dU :

$$dU = TdS + SdT - PdV - VdP + \sum_i \mu_i dn_i + \sum_i n_i d\mu_i$$

$$\Rightarrow \text{Εξίσωση Gibbs - Duhem:} \quad \sum_i n_i d\mu_i = VdP - SdT$$

Για μια καθαρή ουσία από την εξίσωση Gibbs-Duhem:

$$s_i dT - v_i dP + d\mu_i = 0 \quad \Rightarrow \quad d\mu_i = -s_i dT + v_i dP$$

$$\mu_i(T, P) = \mu_i(T^0, P^0) - \int s_i dT + \int v_i dP$$

Γενικά

$$\mu_i = \int_0^P \left[\left(\frac{\partial V}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_j} - \frac{R}{P} \right] dP + RT \ln\{y_i P\} + \bar{h}_i^0 - T \bar{s}_i^0$$

$$\mu_i = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_j} - \frac{RT}{V} \right] dV - RT \ln \frac{V}{n_i RT} + RT + \bar{u}_i^0 - T \bar{s}_i^0$$

Ελεύθερη ενέργεια Gibbs και ισορροπία φάσεων

Ένα μονωμένο σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία όταν δεν πραγματοποιείται καμία μεταβολή στο εσωτερικό του.

- μηχανική ισορροπία
- θερμική ισορροπία
- **ισορροπία φάσεων**
- χημική ισορροπία

Ισορροπία

Έστω μια διεργασία σε σταθερή T και P ($dP = dT = 0$), π.χ. κατά την ισορροπία φάσεων:

Ισορροπία

Έστω μια διεργασία σε σταθερή T και P ($dP = dT = 0$), π.χ. κατά την ισορροπία φάσεων:

$$dU = \delta Q - PdV \quad dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$dU + PdV - TdS \leq 0$$

$$\text{Αλλά} \quad (dG)_{T,P} = dH - TdS = dU + PdV - TdS \leq 0$$

Ισορροπία

Έστω μια διεργασία σε σταθερή T και P ($dP = dT = 0$), π.χ. κατά την ισορροπία φάσεων:

$$dU = \delta Q - PdV \quad dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$dU + PdV - TdS \leq 0$$

$$\text{Αλλά} \quad (dG)_{T,P} = dH - TdS = dU + PdV - TdS \leq 0$$

- Ισορροπία υπάρχει όταν $G = \text{minimum}$

$$(dG)_{T,P} = 0$$

Ισορροπία

Έστω μια διεργασία σε σταθερή T και P ($dP = dT = 0$), π.χ. κατά την ισορροπία φάσεων:

$$dU = \delta Q - PdV \quad dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$dU + PdV - TdS \leq 0$$

$$\text{Αλλά} \quad (dG)_{T,P} = dH - TdS = dU + PdV - TdS \leq 0$$

- Ισορροπία υπάρχει όταν $G = \text{minimum}$

$$(dG)_{T,P} = 0$$

Ισορροπία φάσεων ενός συστατικού (π.χ. ατμός-υγρό)

- Για το μίγμα ατμών - υγρού:

$$G = m_f g_f + m_g g_g$$

Ισορροπία φάσεων ενός συστατικού (π.χ. ατμός-υγρό)

- Για το μίγμα ατμών - υγρού:

$$G = m_f g_f + m_g g_g$$

- Μετά μια διαταραχή (π.χ. στη σύσταση:

$$(dG)_{T,P} = g_f dm_f + g_g dm_g$$

Ισορροπία φάσεων ενός συστατικού (π.χ. ατμός-υγρό)

- Για το μίγμα ατμών - υγρού:

$$G = m_f g_f + m_g g_g$$

- Μετά μια διαταραχή (π.χ. στη σύσταση:

$$(dG)_{T,P} = g_f dm_f + g_g dm_g$$

- Στη διαταραχή : $dm_g = -dm_f$

$$(dG)_{T,P} = (g_f - g_g) dm_f$$

Ισορροπία φάσεων ενός συστατικού (π.χ. ατμός-υγρό)

- Για το μίγμα ατμών - υγρού:

$$G = m_f g_f + m_g g_g$$

- Μετά μια διαταραχή (π.χ. στη σύσταση:

$$(dG)_{T,P} = g_f dm_f + g_g dm_g$$

- Στη διαταραχή : $dm_g = -dm_f$

$$(dG)_{T,P} = (g_f - g_g) dm_f$$

- Σε ισορροπία $(dG)_{T,P} = 0$. Άρα

$$g_f = g_g$$

Δύο φάσεις βρίσκονται σε ισορροπία όταν έχουν την ίδια τιμή της συνάρτησης Gibbs

Ισορροπία φάσεων σε συστήματα πολλών συστατικών

- Για κάθε συστατικό :

$$g_{f,1} = g_{g,1} = g_{s,1}$$

$$g_{f,2} = g_{g,2} = g_{s,2}$$

$$g_{f,n} = g_{g,n} = g_{s,n}$$

Ο νόμος του Henry

- Μερική πίεση αερίου μίγματος (χαμηλές πιέσεις, αραιά μίγματα)

$$P_i = y_i P$$

Ο νόμος του Henry

- Μερική πίεση αερίου μίγματος (χαμηλές πιέσεις, αραιά μίγματα)

$$P_i = y_i P$$

- Διάλυμα αερίου σε υγρό: $x_i (= y_{i,liquid\ side}) = \frac{P_i}{H} \Rightarrow P_i = x_i H$

Ο νόμος του Henry

- Μερική πίεση αερίου μίγματος (χαμηλές πιέσεις, αραιά μίγματα)

$$P_i = y_i P$$

- Διάλυμα αερίου σε υγρό: $x_i (= y_{i,liquid\ side}) = \frac{P_i}{H} \Rightarrow P_i = x_i H$
- $H(T)$: σταθερά του Henry,

Ο νόμος του Henry

- Μερική πίεση αερίου μίγματος (χαμηλές πιέσεις, αραιά μίγματα)

$$P_i = y_i P$$

- Διάλυμα αερίου σε υγρό: $x_i (= y_{i,liquid\ side}) = \frac{P_i}{H} \Rightarrow P_i = x_i H$
- $H(T)$: σταθερά του Henry,
- Η σταθερά του Henry εξαρτάται από το ζεύγος του διαλελυμένου αερίου - υγρού

Ο νόμος του Henry

- Μερική πίεση αερίου μίγματος (χαμηλές πιέσεις, αραιά μίγματα)

$$P_i = y_i P$$

- Διάλυμα αερίου σε υγρό: $x_i (= y_{i,liquid\ side}) = \frac{P_i}{H} \Rightarrow P_i = x_i H$
- $H(T)$: σταθερά του Henry,
- Η σταθερά του Henry εξαρτάται από το ζεύγος του διαλελυμένου αερίου - υγρού
- Η σταθερά του Henry μειώνεται με τη θερμοκρασία

Ο νόμος του Raoult

$$P_i = y_i P = x_i P_{i,sat}(T)$$

Πτητικότητα

Για μια καθαρή ουσία σε σταθερή θερμοκρασία :

$$d\mu_i = -s_i dT + v_i dP \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial P} \right)_T = v_i$$

Για ιδανικό αέριο :

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial P} \right)_T = \frac{RT}{P}$$

$$\mu_i - \mu_i^0 = RT \ln \frac{P}{P_0}$$

Για ισόθερμη μεταβολή οιοδήποτε συστατικού συστήματος (αέριο, υγρό στερεό) (καθαρό ή μίγμα) (ιδανικό ή μη):

$$\text{πητικότητα (fugacity) [Pa] } f_i : \quad \mu_i - \mu_i^0 = RT \ln \frac{f_i}{P_0}$$

f_i : «διορθωμένη» μερική πίεση

$$\text{Συντελεστής πτητικότητας } \phi_i = \frac{f_i}{y_i P} = F_\phi(T, P, y_j)$$

$$RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_0^P \left[\left(\frac{\partial V}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_j} - \frac{RT}{P} \right] dP$$

$$RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_j} - \frac{RT}{V} \right] dV - RT \ln Z$$

Σε ισορροπία προκύπτει ότι :

$$\mu_i^a = \mu_i^b = \dots = \mu_i^\pi$$

Αυτό είναι ισοδύναμο με

$$f_i^a = f_i^b = \dots$$

π φάσεις βρίσκονται σε ισορροπία όταν το χημικό δυναμικό κάθε συστατικού έχει την ίδια τιμή σε όλες τις φάσεις.

Εφαρμογή: Σύστημα δύο φάσεων - αερίου, υγρού, με την αέρια και την υγρή φάση ως ιδανικά μίγματα

$$f_i^V = f_i^L$$

$$f_i^V = y_i f_{i,pure}^V \quad f_i^L = x_i f_{i,pure}^L$$

$$y_i f_{i,pure}^V = x_i f_{i,pure}^L$$

Αν ο ατμός είναι ιδανικό αέριο: $y_i P = x_i P_i^{sat}$

(Νόμος του **Raoult**)

Στη γενική περίπτωση:

$$\mu_i^a = \mu_i^b \quad \text{είναι ισοδύναμο με} \quad \phi_i y_i P = \gamma_i x_i f_i^0$$

$$\text{Συντελεστής πτητικότητας } \phi_i = \frac{f_i}{y_i P} = F_\phi(T, P, y_j)$$

$$\text{Συντελεστής ενεργότητας } \gamma_i = \frac{f_i}{x_i P}$$

$$\text{Καθαρή ουσία: } \phi = \frac{f}{P} \quad \text{ιδανικό αέριο: } \phi = 1$$

$$\text{Μίγμα ιδανικών αερίων: } \phi = 1 \quad f_i = y_i P$$

Μίγμα πραγματικών αερίων :

$$RT \ln \phi_i = RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_j} - \frac{RT}{V} \right] - dV - RT \ln \Omega$$

Οι σχέσεις των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων για ετερογενές μίγμα m συστατικών σε π φάσεις

Όταν το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία:

$$T^{(1)} = T^{(2)} = \dots = T^{(\pi)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)} = \dots = P^{(\pi)}$$

$$\mu_1^{(1)} = \mu_1^{(2)} = \dots = \mu_1^{(\pi)}$$

$$\mu_2^{(1)} = \mu_2^{(2)} = \dots = \mu_2^{(\pi)}$$

.

.

.

$$\mu_m^{(1)} = \mu_m^{(2)} = \dots = \mu_m^{(\pi)}$$

ή

$$T^{(1)} = T^{(2)} = \dots = T^{(\pi)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)} = \dots = P^{(\pi)}$$

$$f_1^{(1)} = f_1^{(2)} = \dots = f_1^{(\pi)}$$

$$f_2^{(1)} = f_2^{(2)} = \dots = f_2^{(\pi)}$$

.

.

.

$$f_m^{(1)} = f_m^{(2)} = \dots = f_m^{(\pi)}$$

$(\pi - 1)(m + 2)$ εξισώσεις

Κάθε φάση χαρακτηρίζεται από $(m+2)$ μεταβλητές

Κάθε φάση έχει $(m+1)$ βαθμούς ελευθερίας!

Οι π φάσεις έχουν $\pi(m+1)$ βαθμούς ελευθερίας

Το σύστημα σε ισορροπία χαρακτηρίζεται από $(\pi-1)(m+2)$ εξισώσεις

Οι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος είναι:

$$F = \pi(m + 1) - (\pi - 1)(m + 2) = m + 2 - \pi$$

Ισορροπία φάσεων από ογκομετρικές ιδιότητες

- Ο στόχος της θερμοδυναμικής της ισορροπίας φάσεων είναι ο υπολογισμός των συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση, σύσταση) σε κάθε φάση (π.χ. 1 και 2) που ευρίσκεται σε ισορροπία με τις άλλες στο σύστημα

$$T^{(1)} = T^{(2)}$$

$$f_i^{(1)} = f_i^{(2)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)}$$

Ισορροπία φάσεων από ογκομετρικές ιδιότητες

- Ο στόχος της θερμοδυναμικής της ισορροπίας φάσεων είναι ο υπολογισμός των συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση, σύσταση) σε κάθε φάση (π.χ. 1 και 2) που ευρίσκεται σε ισορροπία με τις άλλες στο σύστημα

$$T^{(1)} = T^{(2)}$$

$$f_i^{(1)} = f_i^{(2)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)}$$

- Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται από τις εξισώσεις των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων κάθε φάσης (μίγματος), τις καταστατικές τους εξισώσεις και τις εξισώσεις ισορροπίας φάσεων.

Ισορροπία φάσεων από ογκομετρικές ιδιότητες

- Ο στόχος της θερμοδυναμικής της ισορροπίας φάσεων είναι ο υπολογισμός των συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση, σύσταση) σε κάθε φάση (π.χ. 1 και 2) που ευρίσκεται σε ισορροπία με τις άλλες στο σύστημα

$$T^{(1)} = T^{(2)}$$

$$f_i^{(1)} = f_i^{(2)}$$

$$P^{(1)} = P^{(2)}$$

- Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται από τις εξισώσεις των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων κάθε φάσης (μίγματος), τις καταστατικές τους εξισώσεις και τις εξισώσεις ισορροπίας φάσεων.
- Χρειάζονται και κανόνες ανάμιξης (mixing rules) για τον υπολογισμό των σταθερών σε κάθε φάση.

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ξέρουμε:

Πίεση, P , και μοριακά κλάσματα στο υγρό: $x_1, x_2, \dots, x_m$

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ξέρουμε:

Πίεση, P , και μοριακά κλάσματα στο υγρό: $x_1, x_2, \dots, x_m$

- Έχουμε:

καταστατική εξίσωση που δίνει ρητώς την πίεση ως συνάρτηση των v και T

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ξέρουμε:
Πίεση, P , και μοριακά κλάσματα στο υγρό: $x_1, x_2, \dots, x_m$
- Έχουμε:
καταστατική εξίσωση που δίνει ρητώς την πίεση ως συνάρτηση των v και T
- Θέλουμε:
Θερμοκρασία, T ,
μοριακά κλάσματα στον ατμό: $y_1, y_2, \dots, y_{m-1}$
μοριακούς όγκους των φάσεων v_g, v_f
($m + 2$) αγνώστους

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ο αριθμός των ανεξαρτήτων εξισώσεων είναι:

$$f_i^g = f_i^f$$

m εξισώσεις· οι πτητικότητες πρέπει να υπολογισθούν για κάθε συστατικό, στον ατμό και στο υγρό.

$$RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T,V,n_j} - \frac{RT}{V} \right] dV - RT \ln Z$$

$P = F(v^g, y_1, y_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για τον ατμό

$P = F(v^f, x_1, x_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για το υγρό

$(m + 2)$ εξισώσεις

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ο αριθμός των ανεξαρτήτων εξισώσεων είναι:

$$f_i^g = f_i^f$$

m εξισώσεις· οι πτητικότητες πρέπει να υπολογισθούν για κάθε συστατικό, στον ατμό και στο υγρό.

$$RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T,V,n_j} - \frac{RT}{V} \right] dV - RT \ln Z$$

$P = F(v^g, y_1, y_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για τον ατμό

$P = F(v^f, x_1, x_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για το υγρό

$(m + 2)$ εξισώσεις

- Λύνουμε το σύστημα

Ισορροπία ατμού - υγρού σε ομογενές μίγμα με n συστατικά

- Ο αριθμός των ανεξαρτήτων εξισώσεων είναι:

$$f_i^g = f_i^f$$

m εξισώσεις· οι πτητικότητες πρέπει να υπολογισθούν για κάθε συστατικό, στον ατμό και στο υγρό.

$$RT \ln \frac{f_i}{y_i P} = \int_V^\infty \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n_i} \right)_{T,V,n_j} - \frac{RT}{V} \right] dV - RT \ln Z$$

$P = F(v^g, y_1, y_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για τον ατμό

$P = F(v^f, x_1, x_2, \dots, T)$ καταστατική εξίσωση για το υγρό

$(m + 2)$ εξισώσεις

- Λύνουμε το σύστημα
- Η δυσκολία έγκειται στην εύρεση κατάλληλων καταστατικών εξισώσεων και κανόνων ανάμιξης