

Τμήμα Χημείας

Μάθημα: Φυσικοχημεία Ι

Εξέταση: Περίοδος Ιανουαρίου 2024-25 (20/1/2025)

1. Ένα δοχείο με αδιαβατικά και σταθερά τοιχώματα χωρίζεται με σταθερό αδιαβατικό διαχώρισμα σε δύο μέρη που έχουν όγκους $V_1 = 0.002 \text{ m}^3$ και $V_2 = 0.004 \text{ m}^3$. Στο ένα μέρος υπάρχει αργό σε πίεση $P_1 = 10^5 \text{ Pa}$ και θερμοκρασία $T_1 = 300 \text{ K}$ και στον άλλο άζωτο σε $P_2 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$ και $T_2 = 350 \text{ K}$.

A) Το διαχώρισμα γίνεται κινητό και διαθερμικό. Όταν αποκατασταθεί η ισορροπία στο δοχείο, τι τιμές έχουν οι θερμοκρασίες, οι πιέσεις και οι όγκοι σε κάθε μέρος; Ποια είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας και της εντροπίας του συνολικού συστήματος;

B) Το διαχώρισμα αφαιρείται τελείως. Ποια είναι η πίεση και η θερμοκρασία του ενιαίου χώρου με την αποκατάσταση της ισορροπίας; Τι τιμές έχουν τα γραμμομοριακά κλάσματα και οι μερικές πιέσεις του κάθε αερίου; Ποια είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας και της εντροπίας κατά την δεύτερη διεργασία; Θεωρούμε ότι τα δύο αέρια συμπεριφέρονται ιδανικά και ότι οι γραμμομοριακές θερμοχωρητικότητες υπό σταθερό όγκο είναι $1.5 R$ του αργού και $2.5 R$ του αζώτου.

Λύση:

Το σύνθετο σύστημα έχει αδιαβατικά τοιχώματα, άρα δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, δηλ. σε οποιαδήποτε διεργασία $q = 0$. Τα τοιχώματα είναι επιπλέον σταθερά, άρα δεν υφίσταται μεταβολή όγκου και κατά συνέπεια δεν ανταλλάσσει έργο με το περιβάλλον ($dw = -P dV$), δηλ. $w = 0$. Επειδή $\Delta U = q + w$, έχουμε $\Delta U = 0$.

A) Όταν το διαχώρισμα γίνει διαθερμικό, μπορούν τα δύο μέρη να ανταλλάξουν θερμότητα και όταν γίνει κινητό να αλλάξουν οι όγκοι και να ανταλλάξουν έργο. Οι μεταβολές ΔU_1 και ΔU_2 αθροιζόμενες δίνουν την συνολική μεταβολή ΔU η οποία όμως είναι 0.

Τα αέρια είναι ιδανικά, άρα η εσωτερική ενέργειά τους είναι μόνο συνάρτηση της θερμοκρασίας. Αν θεωρήσουμε ότι η εσωτερική ενέργεια είναι συνάρτηση θερμοκρασίας και όγκου, τότε

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV, \text{ προκύπτει ότι } \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0, \text{ άρα } dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + 0dV = C_V dT.$$

Όταν το εσωτερικό διαχώρισμα γίνεται διαθερμικό και κινητό, κάθε μέρος διατηρεί το περιεχόμενό του (την ποσότητα κάθε αερίου), αλλά αποκαθίσταται θερμική και μηχανική ισορροπία λόγω του 2ου Νόμου της Θερμοδυναμικής, δηλ. δεν υπάρχουν πλέον διαφορές θερμοκρασίας και πίεσεως μεταξύ των δύο μερών. Επομένως και τα δύο μέρη έχουν ίδια θερμοκρασία T_3 και ίδια πίεση P_3 (όχι όμως τα ίδια χημικά δυναμικά των συστατικών τους, διότι το διαχώρισμα δεν έγινε διαπερατό σε κάποιο ή όλα τα συστατικά των δύο μερών).

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αργού είναι

$$\Delta U_1 = \int_{T_1}^{T_3} dU_1 = \int_{T_1}^{T_3} C_{V1} dT = \int_{T_1}^{T_3} n_1 c_{V1} dT = n_1 \frac{3}{2} R (T_3 - T_1)$$

όπου ο αριθμός των γραμμομορίων του αργού μπορεί να προκύψει από τις αρχικές συνθήκες μέρος 1 με την βοήθεια της καταστατικής εξίσωσης των ιδανικών αερίων.

$$P_1 V_1 = n_1 R T_1 \Rightarrow n_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{10^5 \text{ Pa} \times 0.002 \text{ m}^3}{8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}} = 0.08018 \text{ mol}$$

Παρομοίως, $n_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} = \frac{2 \times 10^5 \text{ Pa} \times 0.004 \text{ m}^3}{8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 350 \text{ K}} = 0.2749 \text{ mol}$ και $\Delta U_2 = n_2 \frac{5}{2} R (T_3 - T_2)$.

Εφόσον $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0 \Rightarrow n_1 \frac{3}{2} R (T_3 - T_1) + n_2 \frac{5}{2} R (T_3 - T_2) = 0 \Rightarrow$

$$T_3 = \frac{3n_1 T_1 + 5n_2 T_2}{3n_1 + 5n_2} = \frac{3 \times 0.08018 \text{ mol} \times 300 \text{ K} + 5 \times 0.2749 \text{ mol} \times 350 \text{ K}}{3 \times 0.08018 \text{ mol} + 5 \times 0.2749 \text{ mol}} = 342.55 \text{ K}$$

Από την καταστατική εξίσωση ιδανικών αερίων μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε την κοινή πίεση των δύο μερών. Αν συμβολίσουμε με τονισμένα σύμβολα τους νέους όγκους, έχουμε $V'_1 = \frac{n_1 R T_3}{P_3}$ και $V'_2 = \frac{n_2 R T_3}{P_3}$.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο ολικός όγκος των δύο μερών δεν αλλάζει, έχουμε

$$V_1 + V_2 = V'_1 + V'_2 = \frac{n_1 R T_3}{P_3} + \frac{n_2 R T_3}{P_3} = (n_1 + n_2) \frac{R T_3}{P_3} \Rightarrow P_3 = \frac{n_1 + n_2}{V_1 + V_2} R T_3 \Rightarrow$$

$$P_3 = \frac{0.08018 \text{ mol} + 0.2749 \text{ mol}}{0.002 \text{ m}^3 + 0.004 \text{ m}^3} 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 342.55 \text{ K} = 1.686 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Τώρα μπορούμε να βρούμε και τους τελικούς όγκους των δύο μερών.

$$V'_1 = \frac{n_1 R T_3}{P_3} = \frac{0.08018 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 342.55 \text{ K}}{1.686 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.00135 \text{ m}^3 \text{ και}$$

$$V_2' = \frac{n_2 R T_3}{P_3} = \frac{0.2749 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 342.55 \text{ K}}{1.686 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.00465 \text{ m}^3$$

Για τον υπολογισμό των μεταβολών εντροπίας εκφράζουμε την εντροπία του κάθε αερίου συναρτήσει θερμοκρασίας και όγκου (όπως την εσωτερική ενέργεια).

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

Ο υπολογισμός της πρώτης παραγώγου απαιτεί την πολύ χρήσιμη σχέση $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T} = \frac{n c_V}{T}$, ενώ η δεύτερη χρειάζεται αλλαγή μεταβλητών με σχέση Maxwell. Η κατάλληλη θεμελιώδης εξίσωση είναι η

$$dF = -SdT - PdV \Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V. \text{ Εφόσον } P = \frac{nRT}{V} \text{ προκύπτει ότι } \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{nR}{V}. \text{ Άρα:}$$

$$\Delta S_1 = \int_1^3 dS = \int_{T_1}^{T_3} \frac{n_1 c_{V1}}{T} dT + \int_{V_1}^{V_1'} \frac{n_1 R}{V} dV = n_1 c_{V1} \ln \frac{T_3}{T_1} + n_1 R \ln \frac{V_1'}{V_1} \Rightarrow \Delta S_1 = n_1 R \left(\frac{3}{2} \ln \frac{T_3}{T_1} + \ln \frac{V_1'}{V_1} \right) \Rightarrow$$

$$\Delta S_1 = 0.08018 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times \left(\frac{3}{2} \ln \frac{342.55}{300} + \ln \frac{0.00135}{0.002} \right) = -0.127 \text{ J K}^{-1}$$

Παρομοίως για το άζωτο: $\Delta S_2 = n_2 R \left(\frac{5}{2} \ln \frac{T_3}{T_2} + \ln \frac{V_2'}{V_2} \right) \Rightarrow$

$$\Delta S_2 = 0.2749 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times \left(\frac{5}{2} \ln \frac{342.55}{350} + \ln \frac{0.00465}{0.004} \right) = 0.219 \text{ J K}^{-1}$$

Άρα η ολική μεταβολή της εντροπίας ήταν $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -0.127 \text{ J K}^{-1} + 0.219 \text{ J K}^{-1} = 0.092 \text{ J K}^{-1}$

B) Κατά την ανάμιξη ιδανικών αερίων δεν υπάρχει ανταλλαγή ενέργειας (διότι τα αέρια δεν αλληλεπιδρούν καθώς δεν υπάρχουν διαμοριακές δυνάμεις). Συνεπώς δεν αλλάζει η εσωτερική ενέργεια των αερίων, ούτε η θερμοκρασία τους. Όμως τώρα το κάθε αέριο καταλαμβάνει περισσότερο όγκο, τον συνολικό όγκο.

Ξεκινούμε πάλι από την σχέση $dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV$, όπου τώρα διατηρείται μόνο ο δεύτερος όρος, εφόσον διαπιστώσαμε ότι η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Άρα

$$\Delta S_1 = \int_3^4 dS_1 = \int_{V_1'}^V \frac{n_1 R}{V} dV = n_1 R \ln \frac{V}{V_1'} \Rightarrow$$

$$\Delta S_1 = 0.08018 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times \ln \frac{0.006}{0.00135} = 0.992 \text{ J K}^{-1}$$

Ομοίως: $\Delta S_2 = \int_3^4 dS_2 = \int_{V_2'}^V \frac{n_2 R}{V} dV = n_2 R \ln \frac{V}{V_2'} \Rightarrow$

$$\Delta S_2 = 0.2749 \text{ mol} \times 8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times \ln \frac{0.006}{0.00465} = 0.585 \text{ J K}^{-1}$$

Άρα η ολική μεταβολή της εντροπίας στη δεύτερη διεργασία είναι

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0.992 \text{ J K}^{-1} + 0.585 \text{ J K}^{-1} = 1.577 \text{ J K}^{-1}$$

Τα γραμμομοριακά κλάσματα είναι $x_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2} = \frac{0.08018}{0.08018+0.2749} = 0.2258$ και $x_2 = 1 - x_1 = 0.7742$.

Η ολική πίεση παραμένει στα $P_3 = 1.686 \times 10^5 \text{ Pa}$ και οι μερικές πιέσεις είναι

$$P_1' = P_3 x_1 = 1.686 \times 10^5 \text{ Pa} \times 0.2258 = 0.3807 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_2' = P_3 x_2 = 1.686 \times 10^5 \text{ Pa} \times 0.7742 = 1.305 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Η αναφορά σε γραμμομοριακά κλάσματα και μερικές πιέσεις δεν σημαίνει ότι υπάρχει υγρή φάση, ούτε μπορεί να υπάρξει αν έχει κανείς ιδανικά αέρια. Επομένως, η χρήση του όρου «τάση ατμών» για τις μερικές πιέσεις είναι αδόκιμη.

2. Η τάση ατμών του νιτρικού οξέος είναι 27.7 kPa στους 50 °C και 62.3 kPa στους 70 °C. A) Πόση είναι η τάση ατμών του HNO₃ σε θερμοκρασία 333.15 K; B) Κατά την συμπύκνωση 63 g HNO₃ σε θερμοκρασία 333.15 K πόση είναι η μεταβολή της ενθαλπίας, της ενέργειας Gibbs και της εντροπίας;

Λύση:

Η καμπύλη ισορροπίας υγρού-αερίου περιγράφεται ικανοποιητικά από την εξίσωση Clausius-Clapeyron.

$$\frac{d \ln P}{d \frac{1}{T}} = - \frac{\Delta h_{\text{vap}}}{R}. \text{ Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση για να υπολογίσουμε την γραμμομοριακή}$$

ενθαλπία εξατμίσεως ή για να βρούμε την πίεση σε μια κοντινή θερμοκρασία. Με δείκτες 1 και 2 συμβολίζουμε τα δεδομένα και με 3 την άγνωστη τιμή.

$$\Delta h_{\text{vap}} = -R \frac{d \ln P}{d \frac{1}{T}} \approx -R \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = -R \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}$$

Παρομοίως:

$$\Delta h_{\text{vap}} \approx -R \frac{\ln \frac{P_3}{P_1}}{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}}$$

A) Από συνδυασμό των δύο σχέσεων προκύπτει

$$\frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = \frac{\ln \frac{P_3}{P_1}}{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}} \Rightarrow \ln \frac{P_3}{P_1} = \ln \frac{P_2}{P_1} \frac{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \Rightarrow \frac{P_3}{P_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}} \Rightarrow P_3 = P_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_3 = 27.7 \text{ kPa} \left(\frac{62.2}{27.7} \right)^{\frac{\frac{1}{333.15} - \frac{1}{50+273.15}}{\frac{1}{70+273.15} - \frac{1}{50+273.15}}} = 42.05 \text{ kPa}$$

Κατά τον υπολογισμό της διαφοράς των αντιστρόφων παρόμοιων αριθμών είναι απαραίτητο να διατηρούμε αρκετά σημαντικά ψηφία για να προκύψει επαρκής ακρίβεια κατά την αφαίρεση.

Η υπόθεση ότι η σχέση θερμοκρασίας και τάσεως ατμών είναι γραμμική οδηγεί στην λανθασμένη απάντηση των 45 kPa.

$$\text{B) } \Delta h_{\text{vap}} = -R \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = -8.31446 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times \frac{\ln \frac{62.2}{27.7}}{\frac{1}{70+273.15} - \frac{1}{50+273.15}} \text{ K} = 37.36 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$M(\text{HNO}_3) = (1.00794 + 14.00674 + 3 \times 15.9994) \text{ g mol}^{-1} = 63.0127 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{63 \text{ g}}{63.0127 \text{ g mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

$$\Delta H = -n \Delta h_{\text{vap}} = -1 \text{ mol} \times 37.36 \text{ kJ mol}^{-1} = -37.36 \text{ kJ}$$

Το αρνητικό πρόσημο εισάγεται διότι Δh_{vap} είναι η γραμμομοριακή ενθαλπία εξατμίσεως, ενώ εδώ έχουμε το αντίστροφο φαινόμενο της συμπύκνωσης που έχει την αντίθετη ενθαλπία.

Η συμπύκνωση πραγματοποιείται σε συνθήκες ισορροπίας, άρα $\Delta G = 0$.

Τέλος, $G = H - TS \Rightarrow \Delta G = \Delta H - \Delta(TS) = \Delta H - T \Delta S$, όταν T είναι σταθερή (όπως στην συμπύκνωση).

$$\text{Άρα } \Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{\Delta H}{T} = \frac{-37.36 \text{ kJ}}{333.15 \text{ K}} = -112 \text{ J K}^{-1}$$

Ισοδυνάμως, η τελευταία σχέση μπορεί να προκύψει από τον ορισμό της εντροπίας

$$dS = \frac{dq_{\text{rev}}}{T} \xrightarrow{T \text{ σταθερή}} \Delta S = \frac{q_{\text{rev}}}{T}. \text{ Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται αντιστρεπτά είναι το } \Delta H.$$

3. Σε θερμοκρασία 95 °C, η υγρή ουσία A έχει τάση ατμών 80 kPa. Η ουσία B σχηματίζει ιδανικό μίγμα με την ουσία A. Ένα τέτοιο μίγμα έχει γραμμομοριακό κλάσμα του συστατικού B στην υγρή φάση $x_B = 0.2$ και τάση ατμών 100 kPa. Να βρείτε α) την τάση ατμών της καθαρής ουσίας B σε αυτή τη θερμοκρασία, β) την σύσταση της υγρής και γ) της αέριας φάσης.

Λύση:

α) Για τα συστατικά του μίγματος ισχύει ο νόμος του Ραούλ:

$$P_A = P_A^* x_A = P_A^* (1 - x_B) \text{ και}$$

$$P_B = P_B^* x_B \Rightarrow P_B^* = \frac{P_B}{x_B} = \frac{P - P_A}{x_B} = \frac{P - P_A^* (1 - x_B)}{x_B} = \frac{100 \text{ kPa} - 80 \text{ kPa} \times (1 - 0.2)}{0.2} = 180 \text{ kPa}$$

Στην πρώτη αντικατάσταση χρησιμοποιήσαμε τον νόμο του Ντάλτον $P = P_A + P_B$.

β) Η σύσταση της υγρής φάσεως δίνεται $x_B = 0.2$.

$$\gamma) y_B = \frac{P_B}{P} = \frac{P_B^* x_B}{P} = \frac{180 \text{ kPa} \times 0.2}{100 \text{ kPa}} = 0.16$$

4. Σε θερμοκρασία 60 °C κατά την ανάμιξη $n_1 = 0.828$ mol νερού και $n_2 = 0.156$ mol φαινόλης σχηματίζονται δύο υγρές φάσεις Α και Β με γραμμομοριακά κλάσματα φαινόλης $x_{2A} = 0.042$ και $x_{2B} = 0.161$. α) Σε ποια από τις δύο φάσεις είναι μεγαλύτερο το χημικό δυναμικό του νερού; β) Με τη βοήθεια του κανόνα του μοχλού να υπολογίσετε πόσα γραμμομόρια C_6H_5OH (n_{2B}) βρίσκονται στην φάση Β;

Λύση:

Α) Οι δύο φάσεις είναι σε ισορροπία όταν έχουν ίδιες τιμές σε όλες τις εντατικές ιδιότητες, δηλ. έχουν ίδιες θερμοκρασίες, πιέσεις και χημικά δυναμικά κάθε συστατικού. Συνεπώς το χημικό δυναμικό του νερού θα έχει την ίδια τιμή και στις δύο φάσεις. Το ότι τα γραμμομοριακά κλάσματα είναι διαφορετικά απλώς δηλώνει ότι τα μίγματα δεν είναι ιδανικά, πράγμα λογικό αφού τα συστατικά δεν αναμιγνύονται πλήρως σε όλες τις αναλογίες.

Β) Για να χρησιμοποιήσουμε τον κανόνα του μοχλού μας χρειάζονται οι συστάσεις κάθε φάσεως και η μέση σύσταση (στις ισορροπίες υγρών και αερίων συνήθως έχουμε x_1 , y_1 και z_1). Η μέση σύσταση ως προς το συστατικό 2 είναι $z_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2} = \frac{0.156 \text{ mol}}{0.828 \text{ mol}+0.156 \text{ mol}} = 0.1585$

Η σχέση που λέγεται κανόνας του μοχλού γράφεται $n_A(x_{2A} - z_2) = n_B(z_2 - x_{2B})$. Γνωρίζουμε ότι $n_A + n_B = n_1 + n_2 = n = 0.828 \text{ mol} + 0.156 \text{ mol} = 0.984 \text{ mol}$, οπότε $n_A = n - n_B$ και

$$(n - n_B)(x_{2A} - z_2) = n_B(z_2 - x_{2B}) \Rightarrow n(x_{2A} - z_2) = n_B(z_2 - x_{2B}) \Rightarrow$$

$$n_B(x_{2A} - x_{2B}) = n(x_{2A} - z_2) \Rightarrow n_B = n \frac{x_{2A} - z_2}{x_{2A} - x_{2B}} = 0.984 \text{ mol} \times \frac{0.042 - 0.1585}{0.042 - 0.161} = 0.9633 \text{ mol}$$

Επομένως, $n_{2B} = x_{2B}n_B = 0.161 \times 0.967 \text{ mol} = 0.1551 \text{ mol}$

Μπορούμε να καταλήξουμε στο ίδιο αποτέλεσμα χωρίς να επικαλεστούμε τον κανόνα του μοχλού. Οι 4 άγνωστες ποσότητες είναι τα γραμμομόρια του κάθε συστατικού (1 ή 2) σε κάθε υγρή φάση (Α ή Β). Οι ορισμοί των γραμμομοριακών κλασμάτων μας δίνουν δύο εξισώσεις που τις συνδέουν και άλλες δύο σχέσεις προκύπτουν από τις συνολικές ποσότητες των δύο ουσιών.

$$n_{1A} + n_{1B} = n_1 \Rightarrow n_{1A} = n_1 - n_{1B}$$

$$n_{2A} + n_{2B} = n_2 \Rightarrow n_{2A} = n_2 - n_{2B}$$

$$x_{2A} = \frac{n_{2A}}{n_{1A}+n_{2A}} \Rightarrow x_{2A} = \frac{n_2 - n_{2B}}{n_1 - n_{1B} + n_2 - n_{2B}} \Rightarrow x_{2A}(n_1 - n_{1B} + n_2 - n_{2B}) = n_2 - n_{2B} \Rightarrow$$

$$n_{1B} = \frac{n_1 x_{2A} - (n_2 - n_{2B})(1 - x_{2A})}{x_{2A}}$$

$$x_{2B} = \frac{n_{2B}}{n_{1B} + n_{2B}} \Rightarrow x_{2B} = \frac{n_{2B}}{\frac{n_1 x_{2A} - (n_2 - n_{2B})(1 - x_{2A})}{x_{2A}} + n_{2B}} \Rightarrow$$

$$x_{2B} \left[\frac{n_1 x_{2A} - (n_2 - n_{2B})(1 - x_{2A})}{x_{2A}} + n_{2B} \right] = n_{2B} \Rightarrow$$

$$x_{2B} [n_1 x_{2A} - (n_2 - n_{2B})(1 - x_{2A}) + n_{2B} x_{2A}] = n_{2B} x_{2A} \Rightarrow$$

$$x_{2B} [n_1 x_{2A} - n_2(1 - x_{2A})] = n_{2B} [x_{2A} - x_{2B}] \Rightarrow$$

$$n_{2B} = x_{2B} \frac{x_{2A}(n_1 + n_2) - n_2}{x_{2A} - x_{2B}} \Rightarrow$$

$$n_{2B} = 0.161 \times \frac{0.042 \times (0.828 + 0.156) \text{ mol} - 0.156 \text{ mol}}{0.042 - 0.161} = 0.1551 \text{ mol}$$

21,26/1/2025