

Τμήμα Χημείας

Μάθημα: Φυσικοχημεία Ι

Εξέταση: Περίοδος Σεπτεμβρίου 2019-20 (28/9/2020)

Επώνυμο:

Όνομα:

A.M.:

1. Δίνεται η θεμελιώδης εξίσωση ενός θερμοδυναμικού συστήματος  $U = \frac{AS^3}{nV}$ , όπου  $A$  κατάλληλη σταθερά.

Να υπολογίσετε: α) την καταστατική εξίσωση του συστήματος, δηλ. μια σχέση που να συνδέει τα μεγέθη  $P$ ,  $V$ ,  $T$ , και να μην περιέχει  $U$  ή  $S$ , και β) τον συντελεστή διαστολής.

Λύση:

α) Από την θεμελιώδη διαφορετική εξίσωση  $dU = TdS - PdV + \mu dn$  προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{P,n} = T \Rightarrow T = 3 \frac{AS^2}{nV} \quad \text{και} \quad \left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_{S,n} = -V \Rightarrow P = \frac{AS^3}{nV^2}$$

Για να βρούμε την καταστατική εξίσωση απαλείφουμε την εντροπία από τις δύο σχέσεις. Υψώνουμε στην τρίτη δύναμη την πρώτη σχέση και στο τετράγωνο την δεύτερη, λύνουμε ως προς  $S^6$  και εξισώνουμε τις δύο εκφράσεις.

$$S^2 = \frac{nVT}{3A} \Rightarrow S^6 = \frac{n^3V^3T^3}{27A^3} \quad \text{και} \quad S^3 = \frac{nPV^2}{A} \Rightarrow S^6 = \frac{n^2P^2V^4}{A^2} \quad \text{οπότε:}$$

$$S^6 = \frac{n^3V^3T^3}{27A^3} = \frac{n^2P^2V^4}{A^2} \Rightarrow nT^3 = 27AP^2V \Rightarrow V = \frac{nT^3}{27AP^2}$$

β) Ο συντελεστής διαστολής είναι  $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{27AP^2}{nT^3} \frac{3nT^2}{27AP^2} = \frac{3}{T}$  ή  $\alpha = \frac{3nV}{3AS^2} = \frac{nV}{AS^2}$ .

Η  $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P^{-1}$ , όπου  $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S + \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P$  και  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P = -\frac{\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S}{\left(\frac{\partial S}{\partial S}\right)_V}$ .

Οπότε:  $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S - \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S}{\left(\frac{\partial S}{\partial S}\right)_V} = -3 \frac{AS^2}{nV^2} - \frac{\frac{6AS}{nV} \frac{2AS^3}{nV^3}}{\frac{3AS^2}{nV^2}} = \frac{AS^2}{nV^2}$  και τελικά

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P^{-1} = \frac{1}{V} \left(\frac{AS^2}{nV^2}\right)^{-1} = \frac{nV}{AS^2}$$

2. Ένα κομμάτι πάγου μάζας 36 g και θερμοκρασίας  $-10^\circ\text{C}$  τοποθετείται σε βαρέλι γεμάτο τετραχλωράνθρακα θερμοκρασίας  $70^\circ\text{C}$ . Να υπολογίσετε την τελική θερμοκρασία του συστήματος, την μεταβολή της εντροπίας του  $\text{H}_2\text{O}$  και την μεταβολή της εντροπίας του  $\text{CCl}_4$ . Δίνονται: γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του νερού στερεού  $38 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  και υγρού  $c = c_0 + c_1T$  όπου  $c_0 = 78 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  και  $c_1 = -0.0087 \text{ J K}^{-2} \text{ mol}^{-1}$ , γραμμομοριακή ενθαλπία τήξεως νερού  $6010 \text{ J mol}^{-1}$ .

Λύση:

Η τελική θερμοκρασία του συστήματος είναι η θερμοκρασία του  $\text{CCl}_4$  διότι το βαρέλι λειτουργεί ως δεξαμενή λόγω της μεγάλης μάζας του.

Ο πάγος θερμαίνεται πρώτα θα γίνει υγρός και μετά θα φτάσει τους  $70^\circ\text{C}$ . Θα εξετάσουμε 3 στάδια:

1<sup>ο</sup> στάδιο: στερεό νερό θερμαίνεται από  $-10^\circ\text{C}$  μέχρι το σημείο τήξεως, δηλ.  $0^\circ\text{C}$ .

2<sup>ο</sup> στάδιο: τήξη του πάγου σε σταθερή θερμοκρασία.

3<sup>ο</sup> στάδιο: θέρμανση του υγρού νερού από  $0^\circ\text{C}$  μέχρι  $70^\circ\text{C}$ .

Η μεταβολή εντροπίας του νερού θα είναι άθροισμα 3 όρων, ενός για κάθε στάδιο.

Η πίεση διατηρείται σταθερή σε όλα τα στάδια.

$$dS_1 = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P(s)}{T} \Rightarrow \Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_f} \frac{C_P(s)}{T} dT = n c_p(s) (\ln T_f - \ln T_1) = n c_p(s) \ln \frac{T_f}{T_1}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{36 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 2 \text{ mol}$$

$$\Delta S_1 = 2 \text{ mol} \times 38 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \ln \frac{273.15 \text{ K}}{263.15 \text{ K}} = 2.83456 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta H_2}{T_f} = \frac{n\Delta h_f}{T_f} \Rightarrow \Delta S_2 = \frac{2 \text{ mol} \times 6010 \text{ J mol}^{-1}}{273.15 \text{ K}} = 44.0051 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_3 = \int_{T_f}^{T_2} \frac{C_p(l)}{T} dT = \int_{T_f}^{T_2} \frac{n(c_0 + c_1 T)}{T} dT = n \int_{T_f}^{T_2} \left( \frac{c_0}{T} + c_1 \right) dT = n \left[ c_0 \ln \frac{T_2}{T_f} + c_1 (T_2 - T_f) \right] \Rightarrow$$

$$\Delta S_3 = 2 \text{ mol} \times \left[ 34 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \ln \frac{343.15 \text{ K}}{273.15 \text{ K}} - 0.0087 \text{ J K}^{-2} \text{ mol}^{-1} (343.15 - 273.15) \text{ K} \right] = 34.373 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{H}_2\text{O}} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = (2.835 + 44.005 + 34.373) \text{ J K}^{-1} = 81.213 \text{ J K}^{-1}$$

Η μεταβολή της εντροπίας της δεξαμενής υπολογίζεται από την μεταβολή της ενθαλπίας της, όπως στο 2<sup>ο</sup> στάδιο του νερού. Η μεταβολή της ενθαλπίας της δεξαμενής υπολογίζεται από την μεταβολή της ενθαλπίας του νερού διότι το σύστημα είναι θερμικά απομονωμένο από τον υπόλοιπο κόσμο και η ενθαλπία διατηρείται υπό σταθερή πίεση.

$$\Delta H = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_{\Delta} = 0 \Rightarrow \Delta H_{\Delta} = -\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$$dH_1 = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = C_p(s) \Rightarrow \Delta H_1 = \int_{T_1}^{T_f} C_p(s) dT = n c_p(s) (T_f - T_1) \Rightarrow$$

$$\Delta H_1 = 2 \text{ mol} \times 38 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times (273.15 - 263.15) \text{ K} = 760 \text{ J}$$

$$\Delta H_2 = n\Delta h_f = 2 \text{ mol} \times 6010 \text{ J mol}^{-1} = 12020 \text{ J}$$

$$\Delta H_3 = \int_{T_f}^{T_2} C_p(l) dT = \int_{T_f}^{T_2} n(c_0 + c_1 T) dT = n \int_{T_f}^{T_2} (c_0 + c_1 T) dT = n \left[ c_0 (T_2 - T_f) + \frac{c_1}{2} (T_2^2 - T_f^2) \right] \Rightarrow$$

$$\Delta H_3 = 2 \text{ mol} \times \left[ 78 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times (343.15 - 273.15) \text{ K} - \frac{0.0087 \text{ J K}^{-2} \text{ mol}^{-1}}{2} \times (373.15^2 - 273.15^2) \text{ K}^2 \right] = 10545 \text{ J}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = (760 + 12020 + 10545) \text{ J} = 23325 \text{ J} \Rightarrow \Delta H_{\Delta} = -23325 \text{ J}$$

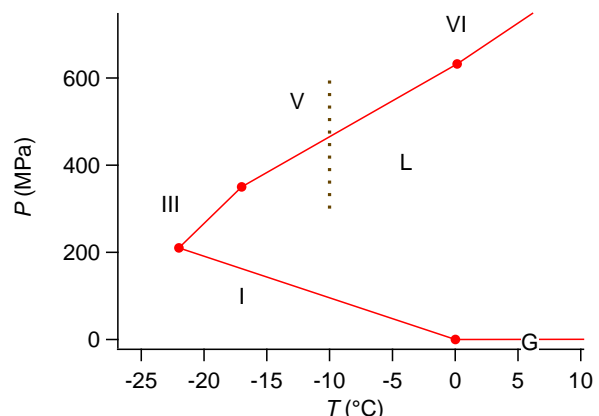
$$\Delta S_{\Delta} = \frac{\Delta H_{\Delta}}{T_{\Delta}} = -\frac{23325 \text{ J}}{343.15 \text{ K}} = -67.97 \text{ J K}^{-1}$$

3. Σε θερμοκρασία  $-22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  και πίεση  $210 \text{ MPa}$  συνυπάρχουν σε ισορροπία νερό σε υγρή φάση και στις στερεές φάσεις I (εξαγωνικής δομής) και III (τετραγωνικής δομής). Σε θερμοκρασία  $-17 \text{ }^{\circ}\text{C}$  και πίεση  $350 \text{ MPa}$  συνυπάρχουν σε ισορροπία η υγρή φάση και οι στερεές φάσεις III (τετραγωνικής δομής) και V (μονοκλινούς δομής). Σε θερμοκρασία  $0.16 \text{ }^{\circ}\text{C}$  και πίεση  $632.4 \text{ MPa}$  συνυπάρχουν η υγρή φάση και οι στερεές φάσεις V και VI (άλλης τετραγωνικής δομής). Να σχεδιάσετε πρόχειρο διάγραμμα φάσεων στο οποίο να δηλώνονται αυτά τα δεδομένα και προσδιορίζονται οι περιοχές των φάσεων που προκύπτουν. Να προσδιορίσετε ποια φάση έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, η υγρή ή η στερεή φάση V στην περιοχή θερμοκρασιών που συνυπάρχουν.

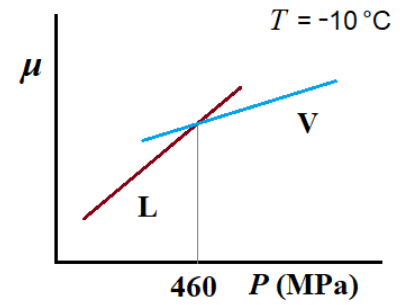
Δύση:

Το διπλανό σχήμα απεικονίζει τα παραπάνω δεδομένα. Συμπληρώνεται από το πιο γνωστό τριπλό σημείο του νερού κοντά στους  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (για την ακρίβεια  $0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) και πίεση ίση με την τάση ατμών του νερού σε αυτή τη θερμοκρασία ( $612 \text{ Pa}$ , που στην κλίμακα των  $\text{MPa}$  είναι  $0.000612 \text{ MPa}$ , δηλ. πρακτικώς 0).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να απαντήσει κανείς το ερώτημα περί πυκνότητας, αλλά όλοι βασίζονται στην ίδια αρχή. Η πιο απλή προσέγγιση είναι να λάβει κανείς υπόψη του την αρχή Le Chatelier-van't Hoff: Με αύξηση της πίεσης το σύστημα μεταπίπτει σε κατάσταση με μικρότερο όγκο, άρα μεγαλύτερη πυκνότητα, δηλ. πιο μεγάλη πυκνότητα έχει η φάση που βρίσκεται σε υψηλότερη πίεση, επομένως η φάση V.



Πιο συστηματικά, επικαλούμαστε την σχέση που δίνει το χημικό δυναμικό ενός συστατικού συναρτήσει πίεσεως και θερμοκρασίας:  $d\mu = -sdT + vdP$ . Με βάση αυτήν μπορούμε να σχεδιάσουμε ποιοτικά την εξάρτηση του χημικού δυναμικού κάθε φάσεως συναρτήσει πίεσεως για επιλεγμένη σταθερή θερμοκρασία. Οι καμπύλες έχουν κλίσεις ανάλογες των γραμμομοριακών όγκων. Σε κάθε πίεση, η φάση με το χαμηλότερο χημικό δυναμικό είναι πιο ευσταθής. Για πιέσεις χαμηλότερες από το σημείο τομής των δύο καμπυλών η καμπύλη με την μεγαλύτερη κλίση έχει μικρότερο χημικό δυναμικό, δηλ. είναι πιο ευσταθής η φάση με την μικρότερη πυκνότητα. Σε υψηλότερες πιέσεις πιο ευσταθής είναι η πυκνότερη φάση. Αν ακολουθήσουμε μια ισόθερμη συμπίεση στο διάγραμμα φάσεων σε θερμοκρασία π.χ.  $-10^\circ\text{C}$ , σε χαμηλές πιέσεις είναι ευσταθής η υγρή φάση, ενώ σε υψηλότερες (πάνω από 460 MPa) η στερεή φάση V είναι η ευσταθής. Άρα η φάση V έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.



4. Ιδανικό υγρό μίγμα των συστατικών 1 και 2 με σύσταση  $x_1$  βρίσκεται σε ισορροπία με ατμό συστάσεως  $y_2 = x_1$ . Οι τάσεις ατμών των καθαρών συστατικών είναι 1 και 2 στην θερμοκρασία που έγινε το πείραμα είναι 50 kPa και 60 kPa. Να υπολογίσετε την τιμή του  $x_1$ .

Λύση:

Εφόσον πρόκειται για ιδανικό μίγμα, ισχύει ο νόμος του Ραούλ για κάθε ένα από τα συστατικά του μίγματος, δηλ. η μερική πίεση του κάθε συστατικού στην αέρια φάση συνδέεται με το αντίστοιχο γραμμομοριακό κλάσμα στην υγρή φάση:  $P_i = P_i^* x_i$ . Επομένως η ολική πίεση στην αέρια φάση είναι:

$$P = P_1 + P_2 = P_1^* x_1 + P_2^* x_2 = P_1^* x_1 + P_2^* (1 - x_1) = (P_1^* - P_2^*) x_1 + P_2^* \text{ επειδή } x_1 + x_2 = 1$$

Επίσης:  $y_2 = \frac{P_2}{P} \Rightarrow P = \frac{P_2}{y_2} = \frac{P_2^* x_2}{y_2} = \frac{P_2^* (1 - x_1)}{y_2}$ . Από την σύγκριση των δύο σχέσεων προκύπτει:

$$(P_1^* - P_2^*) x_1 + P_2^* = \frac{P_2^* (1 - x_1)}{y_2}. \text{ Η απαίτηση του προβλήματος είναι } x_1 = y_2, \text{ οπότε:}$$

$$(P_1^* - P_2^*) x_1 + P_2^* = \frac{P_2^* (1 - x_1)}{x_1} \Rightarrow (P_1^* - P_2^*) x_1^2 + P_2^* x_1 = P_2^* - P_2^* x_1 \Rightarrow (P_1^* - P_2^*) x_1^2 + 2P_2^* x_1 - P_2^* = 0 \Rightarrow$$

$$x_1 = \frac{-P_2^* \pm \sqrt{P_2^{*2} + P_1^* P_2^* - P_2^{*2}}}{P_1^* - P_2^*} = \frac{-P_2^* \pm \sqrt{P_1^* P_2^*}}{P_1^* - P_2^*} = \frac{-60 \pm \sqrt{50 \times 60}}{50 - 60} = \frac{60 \mp 54.77}{10} = 0.523 = y_2$$

Μεταξύ των δύο λύσεων της δευτεροβάθμιας εξισώσεως επιλέξαμε αυτήν η οποία βρίσκεται στο διάστημα  $[0, 1]$ .

Παραλλαγή αυτής της λύσεως είναι η εξής:

Όπως παραπάνω,  $y_2 = \frac{P_2}{P} \Rightarrow P = \frac{P_2}{y_2} = \frac{P_2^* x_2}{y_2} = \frac{P_2^* (1 - x_1)}{y_2}$ . Παρομοίως  $y_1 = \frac{P_1}{P} \Rightarrow P = \frac{P_1}{y_1} = \frac{P_1^* x_1}{1 - y_2}$ . Από την

εξίσωση των δύο σχέσεων προκύπτει  $\frac{P_2^* (1 - x_1)}{y_2} = \frac{P_1^* x_1}{1 - y_2}$ . Λόγω της  $x_1 = y_2$ , αυτή γίνεται:

$$\frac{P_2^* (1 - x_1)}{x_1} = \frac{P_1^* x_1}{1 - x_1} \Rightarrow P_2^* (1 - x_1)^2 = P_1^* x_1^2 \Rightarrow \frac{x_1}{1 - x_1} = \sqrt{\frac{P_2^*}{P_1^*}} = a \Rightarrow x_1 = a - ax_1 \Rightarrow x_1 = \frac{a}{1 + a} \Rightarrow$$

$$x_1 = \frac{\sqrt{\frac{P_2^*}{P_1^*}}}{1 + \sqrt{\frac{P_2^*}{P_1^*}}} = \frac{\sqrt{P_2^*}}{\sqrt{P_1^*} + \sqrt{P_2^*}} = \frac{\sqrt{P_2^*}}{\sqrt{P_1^*} + \sqrt{P_2^*}} \frac{\sqrt{P_1^*} - \sqrt{P_2^*}}{\sqrt{P_1^*} - \sqrt{P_2^*}} = \frac{\sqrt{P_1^* P_2^*} - P_2^*}{P_1^* - P_2^*} = 0.523 = y_2$$

Δεν συνιστάται το στρογγύλεμα του 0.523 σε 0.5 διότι τότε όλα τα γραμμομοριακά κλάσματα είναι 0.5 και οι φάσεις έχουν φαινομενικά την ίδια σύσταση.

Αν αναρωτιέστε γιατί δεν προέκυψαν πάλι δύο λύσεις από την δευτεροβάθμια σχέση, η απάντηση είναι ότι

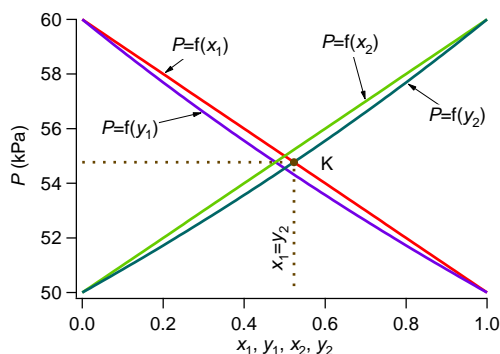
απορρίψαμε σιωπηλά την αρνητική τιμή της ρίζας στο στάδιο:  $\frac{x_1}{1 - x_1} = \pm \sqrt{\frac{P_2^*}{P_1^*}}$ .

Το ερώτημα μπορεί να απαντηθεί και με γραφικό τρόπο.

Το σύστημα που ζητείται χαρακτηρίζεται από την θερμοκρασία (που είναι σταθερή), την πίεση της αέριας φάσεως και τα 4 γραμμομοριακά κλάσματα για τα 2 συστατικά των 2 φάσεων. Η συνύπαρξη των δύο φάσεων οδηγεί στην ύπαρξη 2 ανεξάρτητων εντατικών μεταβλητών σύμφωνα με τον κανόνα των φάσεων

$$f = c - p + 2 = 2 - 2 + 2 = 2$$

. Αυτές μπορεί να είναι η θερμοκρασία και μια από τα μεγέθη  $P, P_1, P_2, x_1, x_2, y_1, y_2$ . Επιβάλλοντας μια συνθήκη επιπλέον, την  $x_1 = y_2$ , οι βαθμοί ελευθερίας μειώνονται στον ένα. Αν επιλέξουμε αυτός να είναι η θερμοκρασία (που καθορίζει τις τιμές των  $P_1^*, P_2^*$ ), τότε το σύστημα μπορεί να βρίσκεται μόνο σε ένα σημείο του επιπέδου πίεσης – συστάσεως. Το σημείο K εκπληρώνει τις προϋποθέσεις γιατί στη συγκεκριμένη τιμή πίεσης η τιμή της συστάσεως  $x_1$  συμπίπτει με την  $y_2$ .

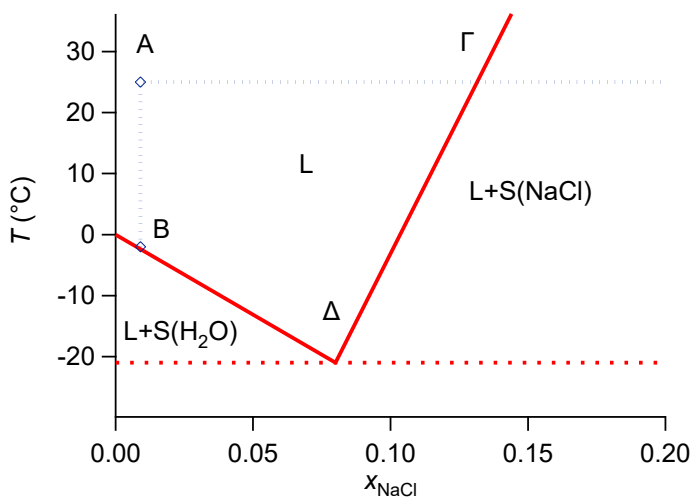


5. Ένα δείγμα θαλασσινού νερού έχει σημείο πήξεως  $-2\text{ }^\circ\text{C}$ . Μια ποσότητα αυτού του νερού τοποθετείται σε υπαίθρια αλυκή θερμοκρασίας περίπου σταθερής στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$  και μερικές ημέρες αργότερα παραλαμβάνεται στεγνό στερεό χλωριούχο νάτριο από την αλυκή. Να δείξετε σε ποιοτικό διάγραμμα σημείων τήξεως μιγμάτων  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$  την πορεία που ακολουθεί το δείγμα από την τοποθέτηση στην αλυκή μέχρι την παραλαβή του  $\text{NaCl}$  και να περιγράψετε πολύ σύντομα τι παρατηρείται. Δίνονται τα σημεία τήξεως  $\text{H}_2\text{O}$   $0\text{ }^\circ\text{C}$  και  $\text{NaCl}$   $800\text{ }^\circ\text{C}$ . Το ευτηκτικό μίγμα με  $x_{\text{NaCl}} = 0.08$  έχει σημείο τήξεως  $-21\text{ }^\circ\text{C}$ .

Λύση:

Το διάγραμμα δείχνει τις θέσεις του σημείου τήξεως του καθαρού νερού και του ευτηκτικού μίγματος (σημείο Δ). Η καμπύλη από το ευτηκτικό προς τα δεξιά συνεχίζει μέχρι τους  $800\text{ }^\circ\text{C}$  σε  $x_{\text{NaCl}} = 1$ .

Το σημείο Β δηλώνει το σημείο πήξεως του θαλασσινού νερού. Το σημείο Α είναι αρχική κατάσταση του δείγματος που τοποθετείται στην αλυκή. Όσο περνάει ο χρόνος, εξατμίζεται νερό, άρα το σύστημα μετατοπίζεται κατά μήκος μιας οριζόντιας γραμμής. Όταν αυξηθεί αρκετά η περιεκτικότητα του διαλύματος σε  $\text{NaCl}$  ώστε να φτάσει στο σημείο Γ, η καμπύλη δηλώνει ότι υπάρχει ισορροπία υγρής και στερεής φάσεως. Επομένως αρχίζει να σχηματίζεται στερεό, το οποίο είναι καθαρό  $\text{NaCl}$ . Όσο μειώνεται το νερό στο μίγμα, η μάζα του υγρού μειώνεται, παρόλα αυτά η σύσταση του υγρού παραμένει σταθερή. Καθώς μειώνεται η μάζα του υγρού, η μάζα του στερεού αυξάνεται και έτσι η μέση σύσταση μετατοπίζεται όλο και πιο δεξιά. Όταν εξατμιστεί όλο το νερό από το μίγμα, δεν υπάρχει πλέον υγρή φάση και το αλάτι είναι έτοιμο για το επόμενο στάδιο της κατεργασίας.



Όσο μειώνεται το νερό στο μίγμα, η μάζα του υγρού μειώνεται, παρόλα αυτά η σύσταση του υγρού παραμένει σταθερή. Καθώς μειώνεται η μάζα του υγρού, η μάζα του στερεού αυξάνεται και έτσι η μέση σύσταση μετατοπίζεται όλο και πιο δεξιά. Όταν εξατμιστεί όλο το νερό από το μίγμα, δεν υπάρχει πλέον υγρή φάση και το αλάτι είναι έτοιμο για το επόμενο στάδιο της κατεργασίας.

**Χρήσιμες σχέσεις:**

$$R = 8.31446\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}, 1\text{ atm} = 101325\text{ Pa} = 760\text{ torr}, 1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}, 1\text{ Pa} = 1\text{ N m}^{-2}, 1\text{ J} = 1\text{ N m}, 1\text{ L} = 10^{-3}\text{ m}^3, g = 9.8\text{ m s}^{-2}.$$

Ατομικές μάζες σε g/mol: H: 1.00794, B: 10.81, C: 12.0107, N: 14.00674, O: 15.9994, Na: 22.98977, Mg: 24.305, Si: 28.0855, S: 32.066, Cl: 35.453, K: 39.0983, Ca: 40.08, Cr: 51.9961, Cu: 63.546, Zn: 65.39, Br: 79.904, Rb: 85.4678, Ag: 107.8682, I: 126.9045, W: 183.85, Au: 196.96655, Hg: 200.599, Pb: 207.2

**Οδηγίες:** Να φαίνονται αναλυτικά οι πράξεις και οι τιμές όλων των μεγεθών να γράφονται με τις μονάδες τους σε όλα τα στάδια των πράξεων.

$$\text{Υπενθύμιση: } \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \neq \frac{1}{a-b}, \frac{1}{a} = \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \Rightarrow a = b + c$$

