

Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών

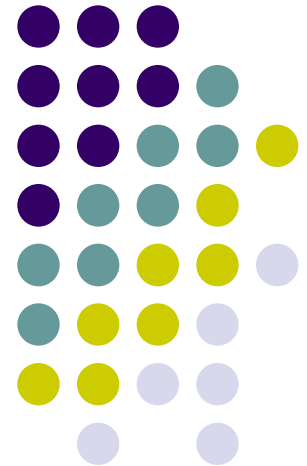
6ο εξάμηνο

Μέρος 1^ο : Εισαγωγικά (διαστ., πυκν., θερμ., πίεση, κτλ.) ✓

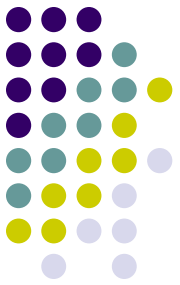
Μέρος 2^ο : Ισοζύγια μάζας ✓

Μέρος 3^ο :

**ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ
ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ**



ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ



ΚΕΦΑΛΑΙΑ

13. Ιδανικά αέρια

Εκτός ύλης

14. Πραγματικά Αέρια (Συμπιεστότητα)

15. Πραγματικά Αέρια (Καταστατικές Εξισώσεις)

16. Ένα Συστατικό, Συστήματα 2 Φάσεων (Τάση Ατμών)

17. Συστήματα δύο Φάσεων, Αερίου-Υγρού (Κορεσμός, Συμπύκνωση & Εξάτμιση)

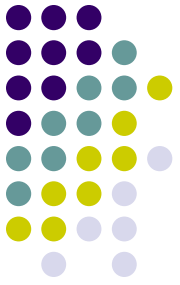
18. Συστήματα δύο Φάσεων, Αερίου-Υγρού (Μερικός Κορεσμός & Υγρασία)

19. Ο Κανόνας των Φάσεων και Ισορροπία Ατμού-Υγρού

20. Υγρά και Αέρια σε Ισορροπία με Στερεά

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ (ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ)

Συνθήκες για συμπεριφορά ιδανικού αερίου



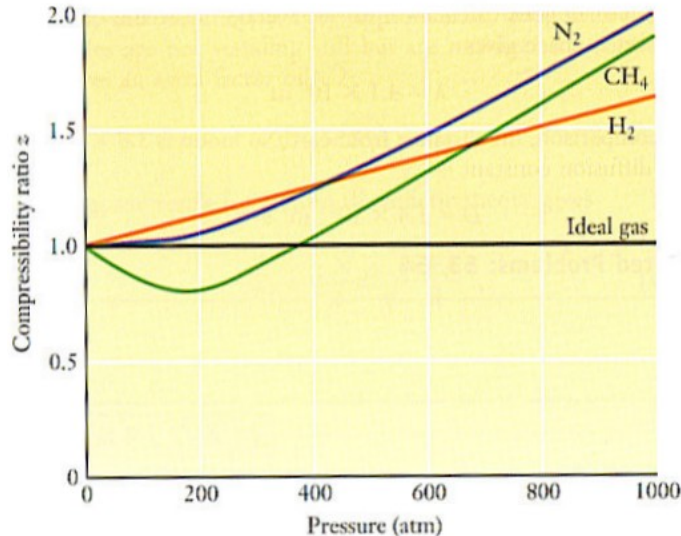
- Οι διαστάσεις των μορίων πολύ μικρές
- Η πυκνότητα των αερίων μικρή (όγκος μορίου \ll όγκο αερίου)
- Αδιάκοπη κίνηση μορίων
- Συγκρούσεις μορίων είναι απολύτως ελαστικές
- Όχι αλληλοεπίδραση μορίων, η ενέργειά τους μόνο κινητική

Τα αέρια σε χαμηλή πίεση ή/και σε υψηλή θερμοκρασία ικανοποιούν αυτές τις προϋποθέσεις.

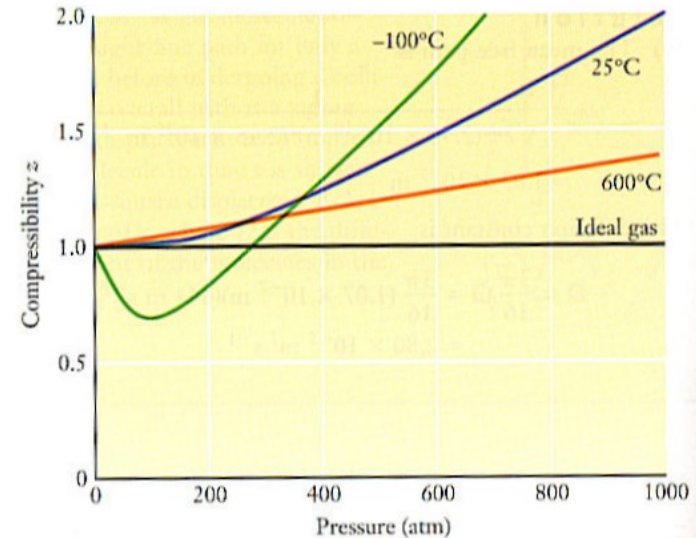
Αντίθετα, τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια σε μεγάλες πυκνότητες (δηλ. σε υψηλή πίεση ή/και χαμηλή θερμοκρασία) δεν τις ικανοποιούν.

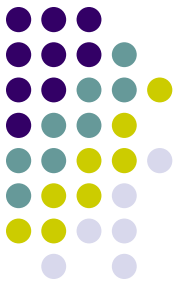
Η γραφική παράσταση της σχέσης $z = PV/nRT$ με την πίεση δείχνει ξεκάθαρα την απόκλιση από τη συμπεριφορά ιδανικού αερίου:

A) για διάφορα αέρια στους 25 °C (αριστερά)

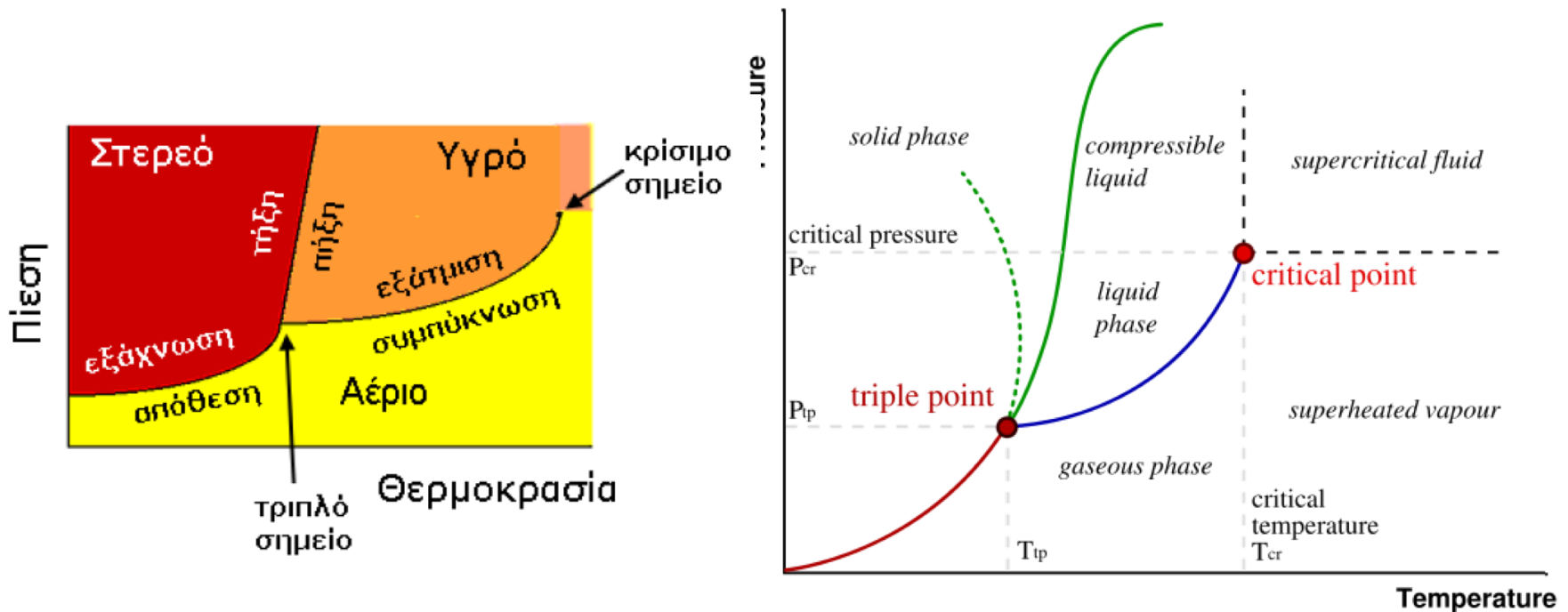


B) για το άζωτο σε διαφορετικές θερμοκρασίες (δεξιά)

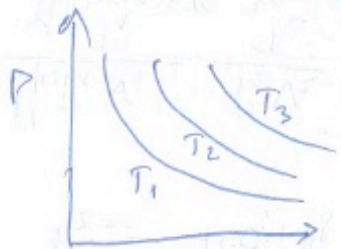




- The **critical temperature**, T_c , of a material is the temperature above which distinct liquid and gas phases do not exist.
- As the critical temperature is approached, the properties of the gas and liquid phases become the same resulting in only one phase: the supercritical fluid.
- Above the critical temperature a liquid cannot be formed by an increase in pressure, but with enough pressure a solid may be formed.
- The **critical pressure** is the vapor pressure at the critical temperature. On the diagram showing the thermodynamic properties for a given substance, the point at critical temperature and critical pressure is called the critical point of the substance.
- Για το νερό $\sim 374^\circ\text{C}$ (647.096 K) και 217.7 atm (22059 kPa)

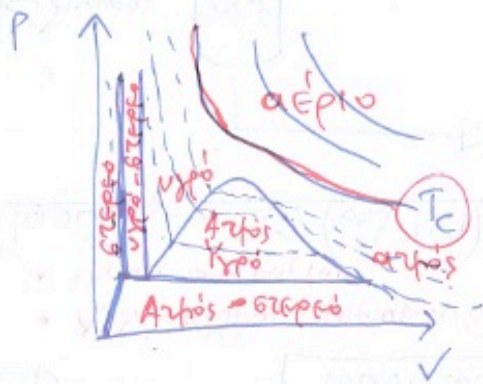


Ιδανικό Αέριο



Ισόθερμη εκτόνωση αερίου
κάθως ιδανικού αερίου

Πραγματικό Αέριο

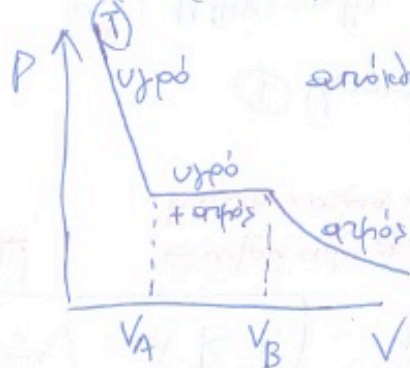


Για $T > T_c$ ιδανικό αέριο ($PV = nRT$)

Για $T < T_c$

Μικροσκοπικό Πρόσωπο για το ιδανικό αέριο :

- Οι διαστάσεις των μορίων είναι μικρές (υπόθεση)
- Η πυκνότητα των αερίων είναι μικρή (όγκος μορίων \ll όγκος αερίου)
- Τα μόρια κινούνται αδιόρθωτα
- Τα μόρια συγκρούονται αποδοτικά ελαστικά
- Τα μόρια δεν αλληλεπιδρούν \Rightarrow η ενέργειά τους είναι κινητική



απόκλιση από την παραβολική εξίσωση

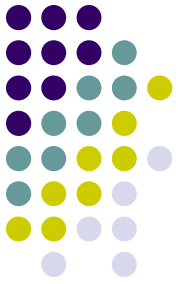
- Όσο μειώνεται η θερμοκρασία τόσο το εύρος $V_B - V_A$ αυξάνει
- Αν πέσει κι θερμ. σταθερά τότε μεταβολή όγκου \Rightarrow μεταβολή φάσης
- Πραγματική φάση αφαιρείται από το ιδανικό αέριο λόγω υγραποίησης

T_c = κρίσιμη θερμοκρασία

$T > T_c$ δεν υγραίνεται το αέριο γιατί τα μόρια δεν αλληλεπιδρούν

$T < T_c$ το αέριο υγραίνεται \Rightarrow υπάρχουν συνθήκες αλληλεπιδράσεως

Πραγματικά αέρια



Συμπριφορά Πραγματικών Αερίων

↳ Γणिτική Προσέγγιση για 1 mole

$$\left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

(Τύπος Van der Waals)
Μαθηματική προσεγγιστική
δύναμη που περιγράφει την
ισοθερμη συμπεριφορά P-V
πραγματικού αερίου

- Αν όγκος μορίου b_i τότε $b = Nb_i$ (N: αρ. Avogadro)
- $\frac{a}{V^2}$ ελκυστικές εσωτερικές δυνάμεις αλληλεπίδρασης // αντιστροφή ανάλογος με $\frac{1}{V^2} \Rightarrow$ φτάνοντας όσο αυξάνει ο όγκος (εσωτερική πίεση ή ενδυνάμωση)

$$\left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT \Rightarrow PV \left(1 + \frac{a}{PV^2} \right) \left(1 - \frac{b}{V} \right) = RT \Rightarrow \frac{PV}{RT} \left(1 + \frac{a}{PV^2} \right) \left(1 - \frac{b}{V} \right) = 1$$

Η πραγματική συμπεριφορά αρχίζει όταν ο όρος $\left(1 + \frac{a}{PV^2} \right) \left(1 - \frac{b}{V} \right) > 1 \Rightarrow 1 - \frac{b}{V} + \frac{a}{PV^2} - \frac{ab}{PV^2} > 1 \Rightarrow$

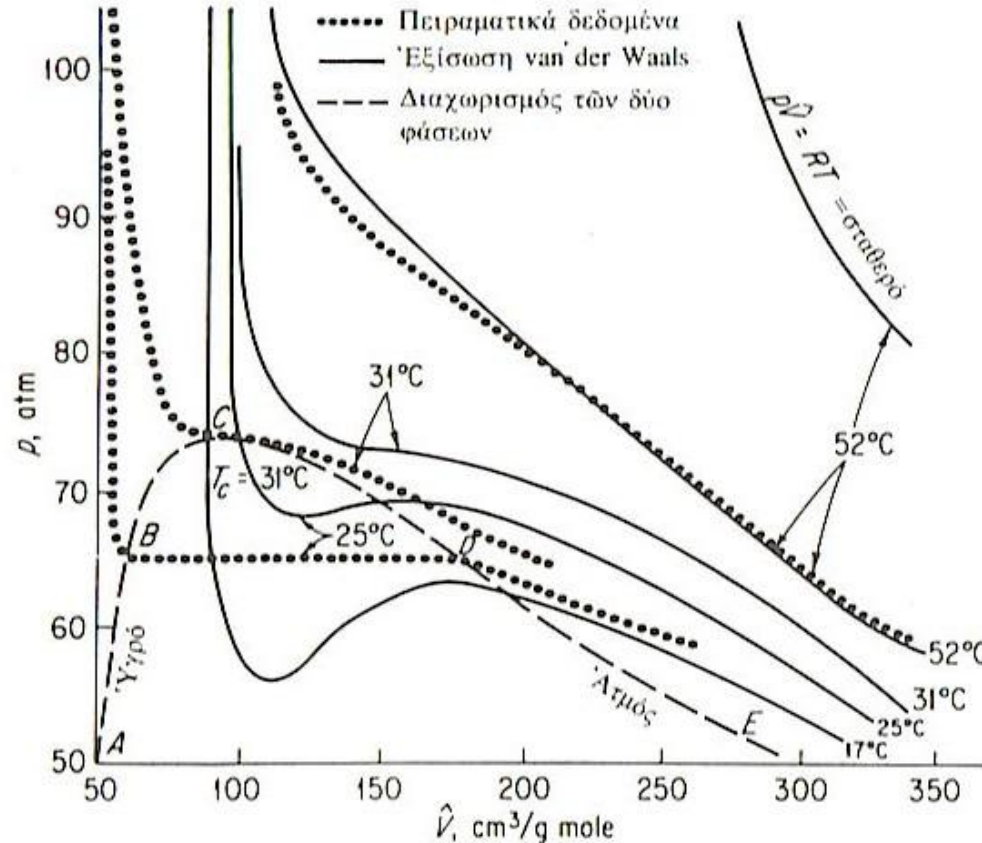
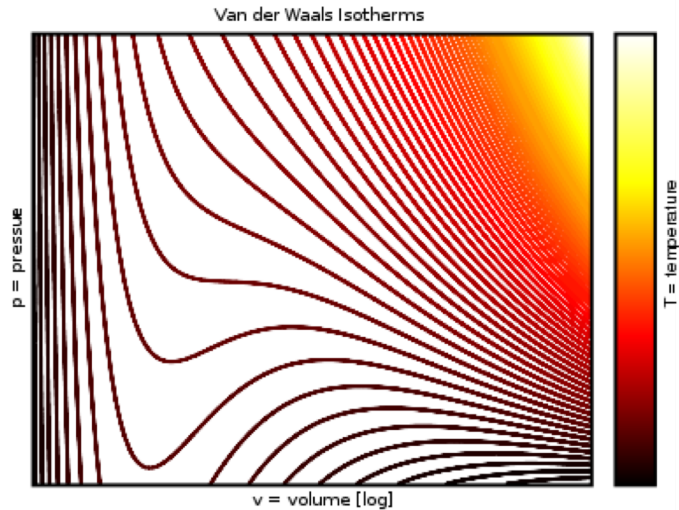
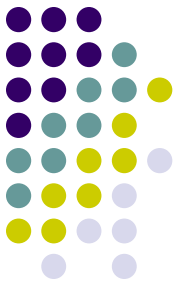
$$\Rightarrow \frac{a}{PV^2} > \frac{b}{V} \Rightarrow \frac{a}{RT} > b \Rightarrow \frac{RT}{a} < \frac{1}{b}$$

η όταν η διαφορά είναι μικρότερη από \Rightarrow

$$T < \frac{a}{Rb}$$

Για να υφιστάσθαι πρέπει να γυρνάει σε θερμοκρασίες Ηρόδωρες.

Πραγματικά αέρια - Van der Waals

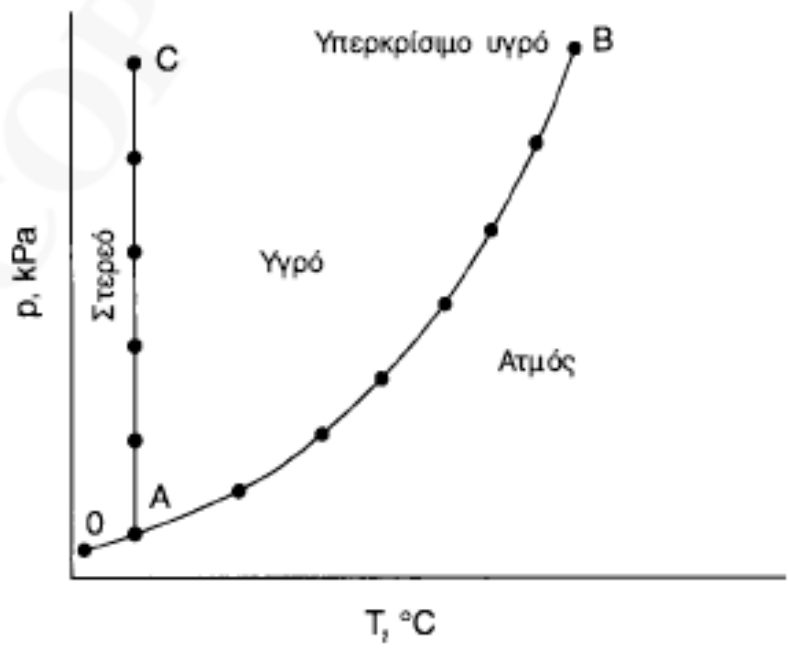
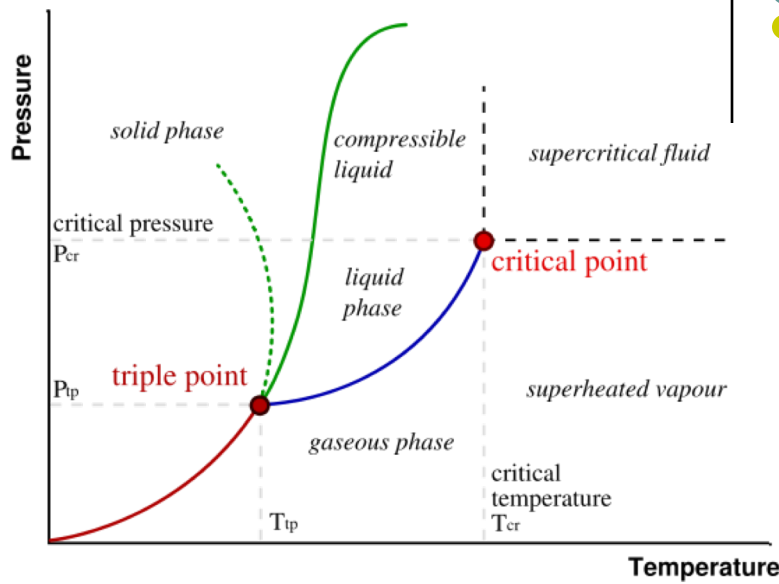
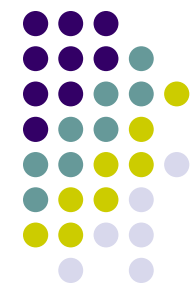


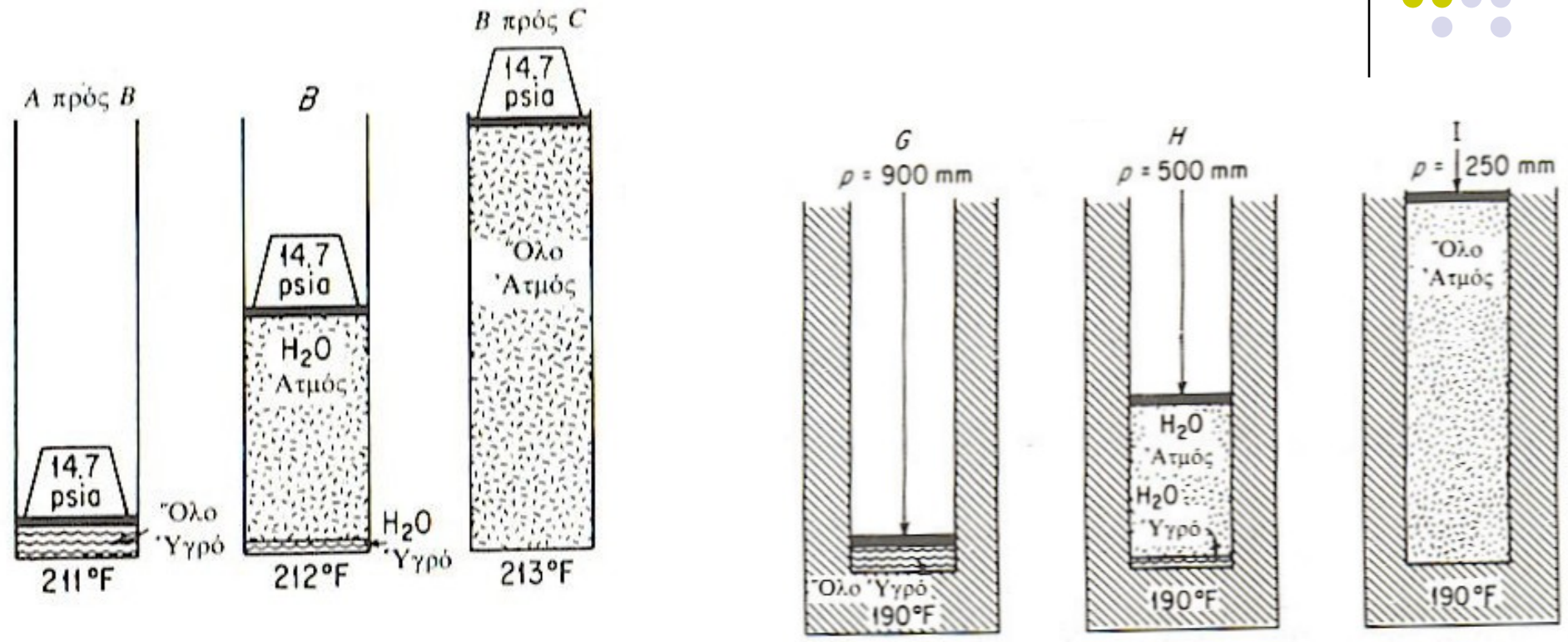
Σχήμα Ίδιότητες $p - V - T$ του CO_2

Van der Waals Constants of Several Gases

Name	Formula	a ($\text{atm L}^2 \text{mol}^{-2}$)	b (L mol^{-1})
Ammonia	NH_3	4.170	0.03707
Argon	Ar	1.345	0.03219
Carbon dioxide	CO_2	3.592	0.04267
Hydrogen	H_2	0.2444	0.02661
Hydrogen chloride	HCl	3.667	0.04081
Methane	CH_4	2.253	0.04278
Nitrogen	N_2	1.390	0.03913
Nitrogen dioxide	NO_2	5.284	0.04424
Oxygen	O_2	1.360	0.03183
Sulfur dioxide	SO_2	6.714	0.05636
Water	H_2O	5.464	0.03049

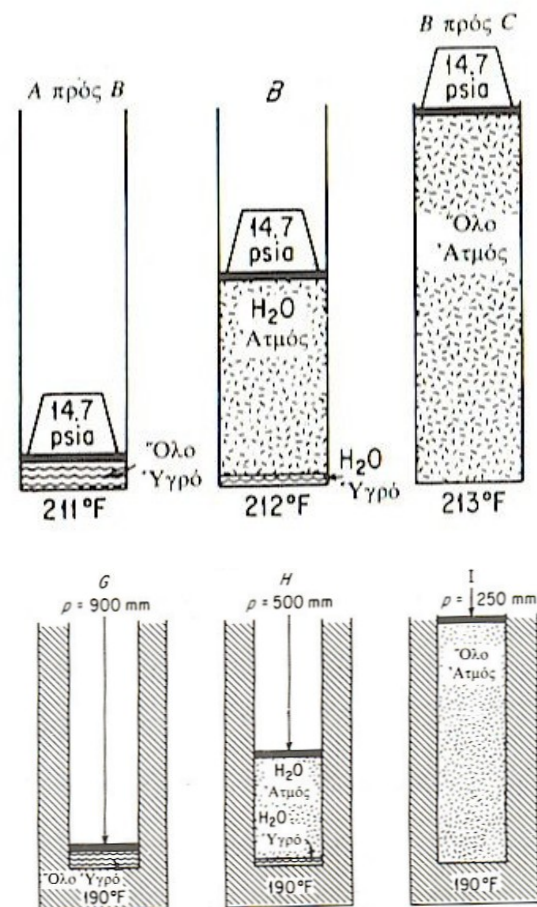
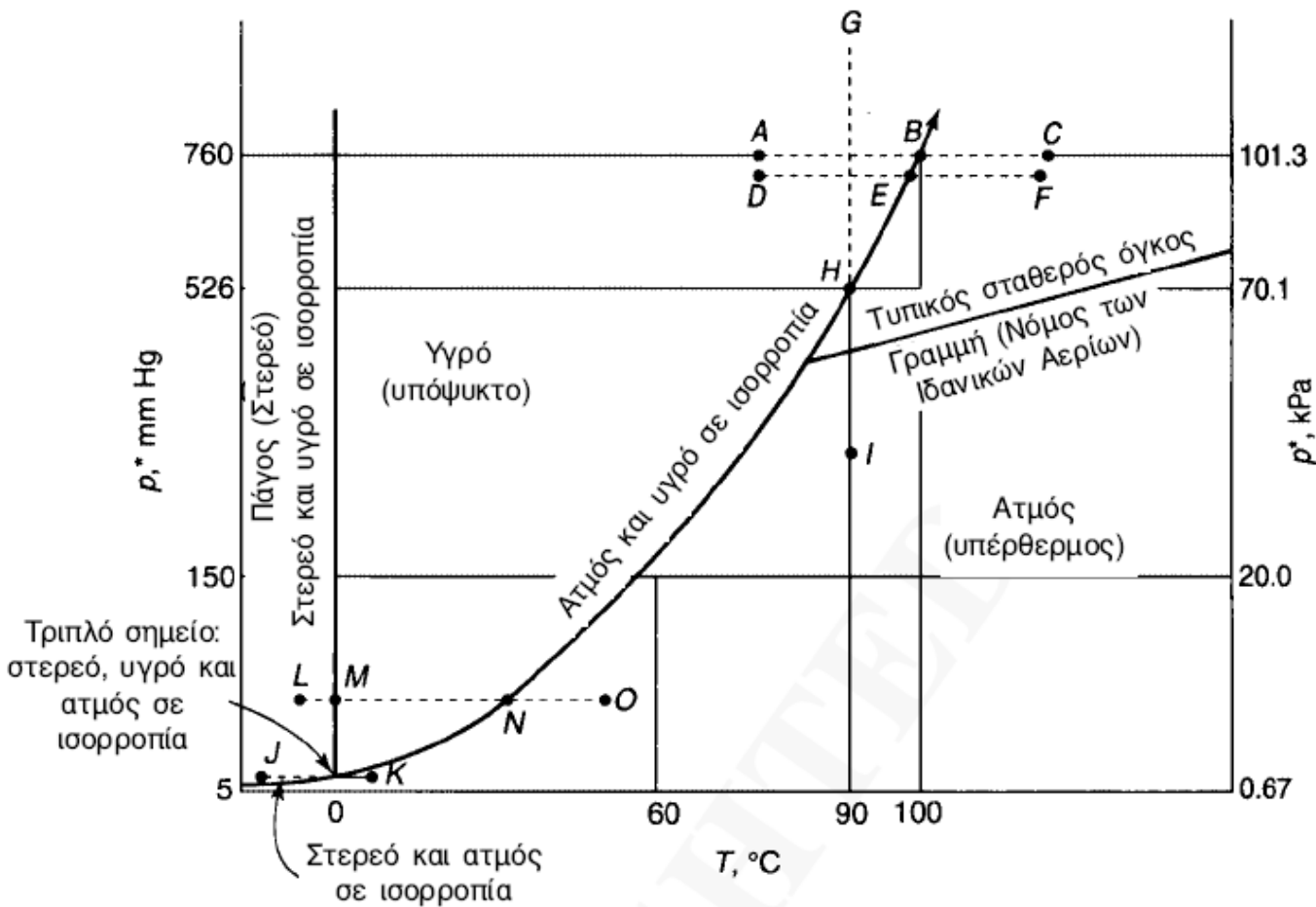
Διαγράμματα Φάσεων





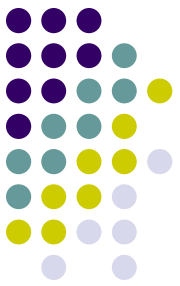
Μετατροπή του νερού από υγρό σε υδρατμό, υπό σταθερή πίεση (αριστερά), υπό σταθερή θερμοκρασία (δεξιά).

Διαγράμματα φάσεων



- Ατμός & υγρή φάση ουσίας σε ισορροπία, τότε η πίεση ισορροπίας ονομάζεται **τάση ατμών (p^*)**
- Για κάθε θερμοκρασία υπάρχει **μόνο μια πίεση** που βρίσκεται σε ισορροπία η υγρή και η αέρια φάση

Διάφοροι όροι



Βρασμός

Η αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο (π.χ. D σε F, A σε C, ή M σε O).

Σημείο βρασμού

Η θερμοκρασία στην οποία ένα υγρό μόλις αρχίζει και εξατμίζεται (π.χ. τα σημεία N, H, και E).

Συμπύκνωση

Η αλλαγή φάσης από ατμό σε υγρό (π.χ. F σε D, C σε A, ή O σε M)

Σημείο δρόσου

Η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός μόλις αρχίζει να συμπυκνώνεται σε μία ορισμένη πίεση, δηλαδή οι τιμές της θερμοκρασίας κατά μήκος της καμπύλης τάσης ατμών (π.χ. N, H, και E).

Εξάτμιση

Η αλλαγή φάσης από υγρό σε ατμός (π.χ. D σε F, A σε C ή M σε O).

Πήξη (στερεοποίηση)

Η αλλαγή φάσης από υγρό σε στερεό (N σε L).

Λιώσιμο (τήξη)

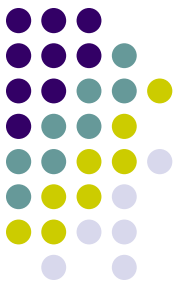
Η αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό (L σε M).

Κανονικό σημείο βρασμού

Η θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών (p^*) ισούται με 1 atm (101.3 kPa), σημείο B για το νερό.

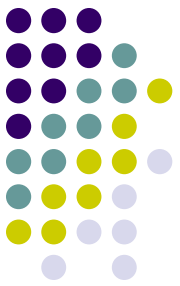
Κανονικά σημείο τήξης

Η θερμοκρασία στην οποία το στερεό τήκεται σε πίεση 1 atm (101.3 kPa).



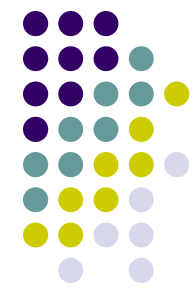
Κορεσμένο υγρό/κορεσμένος ατμός	Τιμές της καμπύλης ισορροπίας υγρού-στερεού (καμπύλη τάσης ατμού)
Υπόψυκτο υγρό	Υγρό μεταξύ της καμπύλης τήξης και της καμπύλης τάσης ατμών (π.χ. D)
Εξάχνωση	Η αλλαγή φάσης από στερεό σε ατμό (J σε K).
Καμπύλη εξάχνωσης	Η καμπύλη ισορροπίας στερεού-ατμού από το J (και χαμηλότερα) προς το τριπλό σημείο.
Πίεση εξάχνωσης	Η πίεση κατά μήκος της καμπύλης εξάχνωσης (συνάρτηση της θερμοκρασίας)
Υπερκρίσιμη θερμοκρασία	Τιμές p-T για υγρά και ατμούς (ρευστά) πάνω από το κρίσιμο σημείο.
Υπέρθερμος ατμός	Ατμός σε θερμοκρασίες και πιέσεις που ξεπερνούν αυτές που αντιστοιχούν σε κορεσμό (I για παράδειγμα). Οι βαθμοί υπερθέρμανσης είναι αυτοί που αντιστοιχούν στην διαφορά (O πλην N ή F πλην E) θερμοκρασίας μεταξύ της πραγματικής T και της κορεσμένης T σε ορισμένη πίεση. Για παράδειγμα, ατμός σε θερμοκρασία 500 °F και 100 psia (η θερμοκρασία κορεσμού στα 100 psia είναι ίση με 327.8 °F) έχει $(500 - 327.8) = 172.2$ °F βαθμούς υπερθέρμανσης.
Περιοχή δύο φάσεων	Συνθήκες T και p στις οποίες δύο φάσεις μπορούν να συνυπάρχουν σε ισορροπία (η περιοχή που αποτελεί τον ατμό και το υγρό συμπιέζεται στην καμπύλη N-H-E-B του Σχήματος 16.3).
Εξάτμιση	Η αλλαγή φάσης από υγρό σε ατμό δηλαδή, ο βρασμός (D σε F).

Κορεσμός



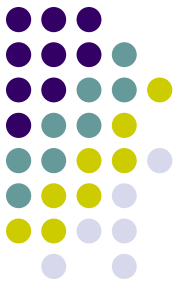
Όταν οποιοδήποτε μη συμπυκνώσιμο ~~υγρό~~ (ή αέριο μίγμα) έρθει σε επαφή με ένα υγρό, το αέριο θα προσλάβει κάποια από τα μόρια του υγρού. Αν η επαφή διατηρηθεί για αρκετό χρόνο, η εξάτμιση θα συνεχιστεί μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας στην διάρκεια της οποίας η μερική πίεση του ατμού στο αέριο θα ισούται με την τάση ατμών του υγρού στην θερμοκρασία του συστήματος. Στην ισορροπία, ο ρυθμός της εξάτμισης είναι ίσος με τον ρυθμό της συμπύκνωσης, επομένως το ποσό του υγρού και το ποσό του ατμού παραμένουν σταθερά. Σαν αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από την διάρκεια της επαφής μεταξύ αερίου και υγρού, μετά την επίτευξη ισορροπίας δεν θα εξατμιστεί άλλη ποσότητα καθαρού υγρού στην αέρια φάση. Στην περίπτωση αυτή το αέριο λέμε ότι είναι κορεσμένο με τον συγκεκριμένο ατμό στην δεδομένη θερμοκρασία. Λέμε επίσης ότι το αέριο μίγμα βρίσκεται στο σημείο δρόσου.

Το σημείο δρόσου ενός μίγματος καθαρού ατμού και ενός μη συμπυκνώσιμου αερίου, είναι η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός μόλις αρχίζει να συμπυκνώνεται. Στο σημείο δρόσου η μερική πίεση του ατμού αντιστοιχεί στην τάση ατμών.



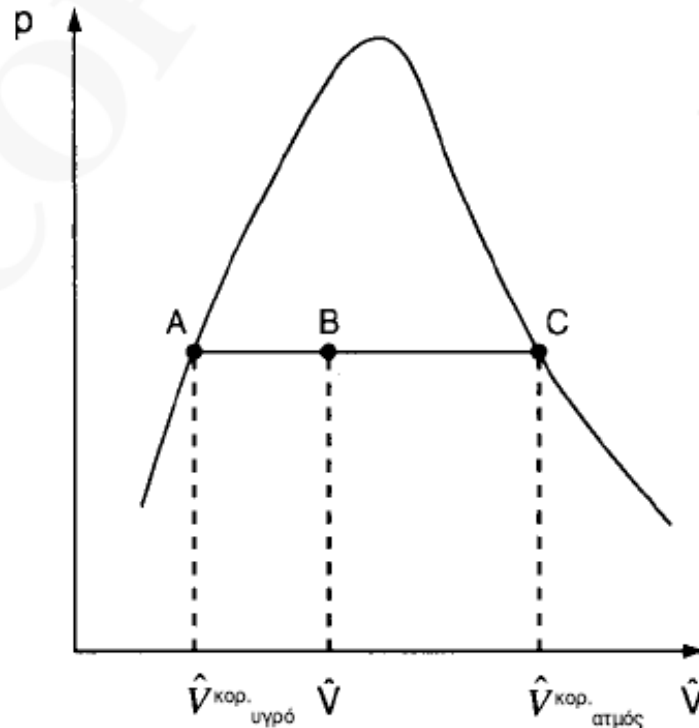
- Μεταβολή ειδικού όγκου κατά την μετάβαση από το υγρό στο στερεό στο 3πλό σημείο,
- Δηλ. το νερό διαστέλλεται όταν παγώνει

Σχήμα 16.4 Πειράματα για την δημιουργία διαγράμματος φάσεων $p-\hat{V}$. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν μετρήσεις σε σταθερές θερμοκρασίες T_1 και T_2 . Οι τελείες αντιπροσωπεύουν τα σημεία στα οποία λαμβάνει χώρα η εξάτμιση ή η συμπύκνωση, αντίστοιχα, του κορεσμένου υγρού, ή ατμού, σχηματίζοντας έναν φάκελο γύρω από την περιοχή των δύο φάσεων.



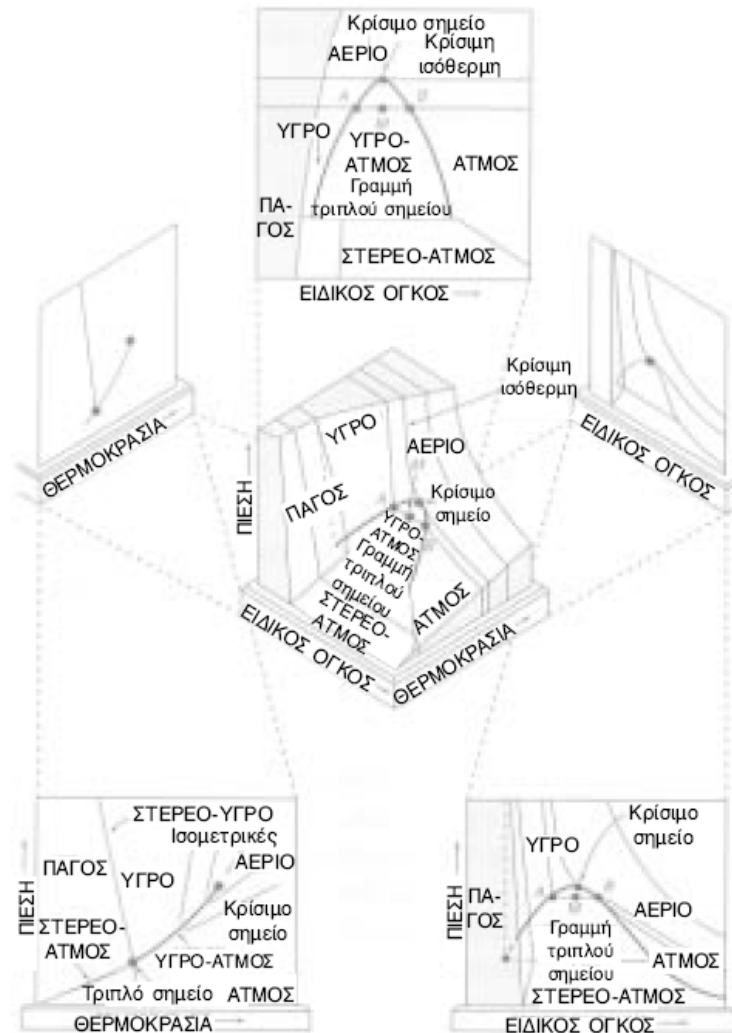
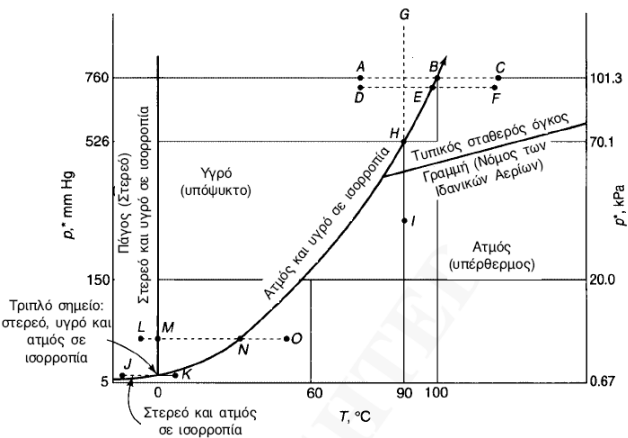
- Στην περιοχή των 2 φάσεων ισχύει ένας νέος όρος, η ποιότητα: το κλάσμα του μίγματος του ολικού ατμού και υγρού που είναι ατμός

$$\hat{V} = (1 - x) \hat{V}_{\text{κορεσμένο υγρό}} + x \hat{V}_{\text{κορεσμένος ατμός}}$$

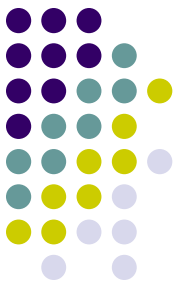


$$x = \frac{\hat{V} - \hat{V}_{\text{κορ. υγρό}}}{\hat{V}_{\text{κορ. ατμός}} - \hat{V}_{\text{κορ. υγρό}}}$$

Σχήμα 16.5 Παρουσίαση της ποιότητας σε διάγραμμα φάσεων $p-\hat{V}$. Το A αντιστοιχεί στο κορεσμένο υγρό και το C στον κορεσμένο ατμό. Στο σημείο B συνυπάρχει η υγρή και η αέρια φάση, ενώ το κλάσμα των ατμών ονομάζεται ποιότητα.

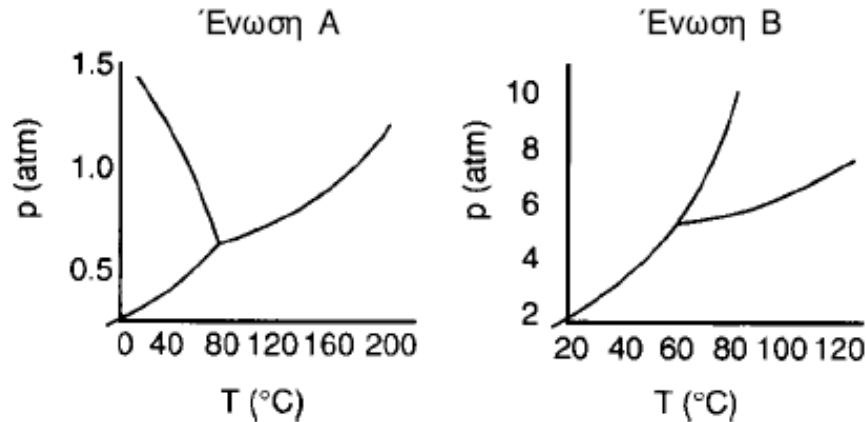


Σχήμα 16.6 Η επιφάνεια $p-\hat{V}-T$ για το νερό (ένωση που διαστέλλεται κατά την πήξη) στην οποία φαίνονται οι προβολές δύο διαστάσεων για τα ζεύγη των τριών μεταβλητών.

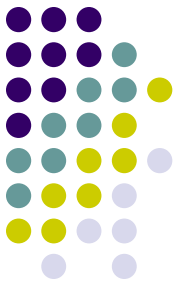


*16.2 Με βάση τα παρακάτω διαγράμματα φάσεων, απαντήστε τις ερωτήσεις και εξηγήστε τις απαντήσεις σας.

- (α) Ποιο είναι κατά προσέγγιση το κανονικό σημείο τήξης για την ουσία Α;
(β) Ποιο είναι κατά προσέγγιση το κανονικό σημείο βρασμού για την ουσία Α;

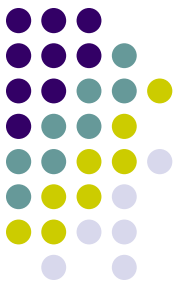


- (γ) Ποια είναι κατά προσέγγιση η θερμοκρασία τριπλού σημείου για την ουσία Β;
(δ) Ποιες ενώσεις εξαχνώνονται στην ατμοσφαιρική πίεση;



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ-ΥΓΡΩΝ (ΚΟΡΕΣΜΟΣ, ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ, ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗ)

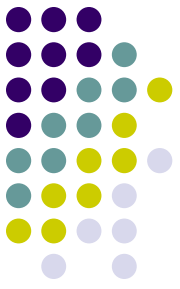
Κορεσμός



Όταν οποιοδήποτε μη συμπυκνώσιμο ~~υγρό~~ (ή αέριο μίγμα) έρθει σε επαφή με ένα υγρό, το αέριο θα προσλάβει κάποια από τα μόρια του υγρού. Αν η επαφή διατηρηθεί για αρκετό χρόνο, η εξάτμιση θα συνεχιστεί μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας στην διάρκεια της οποίας η μερική πίεση του ατμού στο αέριο θα ισούται με την τάση ατμών του υγρού στην θερμοκρασία του συστήματος. Στην ισορροπία, ο ρυθμός της εξάτμισης είναι ίσος με τον ρυθμό της συμπύκνωσης, επομένως το ποσό του υγρού και το ποσό του ατμού παραμένουν σταθερά. Σαν αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από την διάρκεια της επαφής μεταξύ αερίου και υγρού, μετά την επίτευξη ισορροπίας δεν θα εξατμιστεί άλλη ποσότητα καθαρού υγρού στην αέρια φάση. Στην περίπτωση αυτή το αέριο λέμε ότι είναι κορεσμένο με τον συγκεκριμένο ατμό στην δεδομένη θερμοκρασία. Λέμε επίσης ότι το αέριο μίγμα βρίσκεται στο σημείο δρόσου.

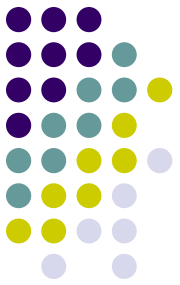
Το σημείο δρόσου ενός μίγματος καθαρού ατμού και ενός μη συμπυκνώσιμου αερίου, είναι η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός μόλις αρχίζει να συμπυκνώνεται. Στο σημείο δρόσου η μερική πίεση του ατμού αντιστοιχεί στην τάση ατμών.

Σημείο δρόσου-φυσσαλίδας



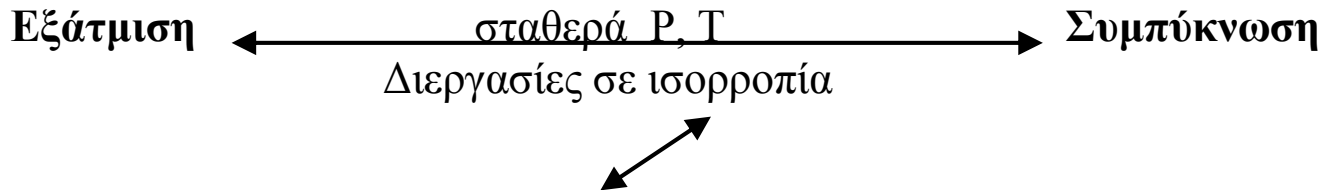
- Σημείο δρόσου (ατμού)
θερμοκρασιακό σημείο κορεσμένου ατμού που η 1^η σταγόνα συμπυκνώνεται
- Σημείο φυσσαλίδας (υγρού)
θερμοκρασιακό σημείο κορεσμένου υγρού που αρχίζει η εξάτμιση

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ-ΥΓΡΩΝ (ΚΟΡΕΣΜΟΣ, ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ, ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗ)



Ατμός : Αέριο κάτω από το κρίσιμο σημείο του (δηλ. όταν συμπιέζεται υπό σταθερή $T < T_c$ τελικά φθάνει σε κάποια πίεση στην οποία αρχίζει να συμπυκνώνεται προς υγρό).

Αέριο : Αέριο πάνω από το κρίσιμο σημείο του (δηλ. δεν μπορεί να συμπυκνωθεί).

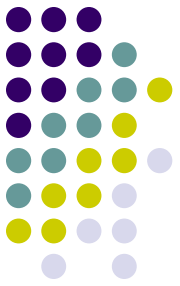


Τάση ατμών = Η πίεση ισορροπίας = Μερική πίεση ατμού

Σε κάθε θερμοκρασία αντιστοιχεί **1 μόνο πίεση** στην οποία συνυπάρχουν υγρή & αέρια φάση.

Πόσα σημεία βρασμού έχει μια ουσία ? **Άπειρα.** (κανονικό σημείο βρασμού: 760 mm Hg)

Βασικές σχέσεις



Σε περιβαλλοντικές συνθήκες ο Νόμος των Ιδανικών Αερίων ισχύει με ακρίβεια τόσο για τον αέρα όσο και για τους υδρατμούς.

Άρα οι παρακάτω σχέσεις ισχύουν για την κατάσταση κορεσμού:

$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}V}{p_{\text{αέρα}}V} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}RT}{n_{\text{αέρ.}}RT}$$

ή

$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{p^*_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{αέρα}}} = \frac{p_{\text{ολική}} - p_{\text{αέρα}}}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{ολική}} - p_{\text{H}_2\text{O}}}$$

επειδή τα V και T είναι τα ίδια για τον αέρα και τους υδρατμούς.

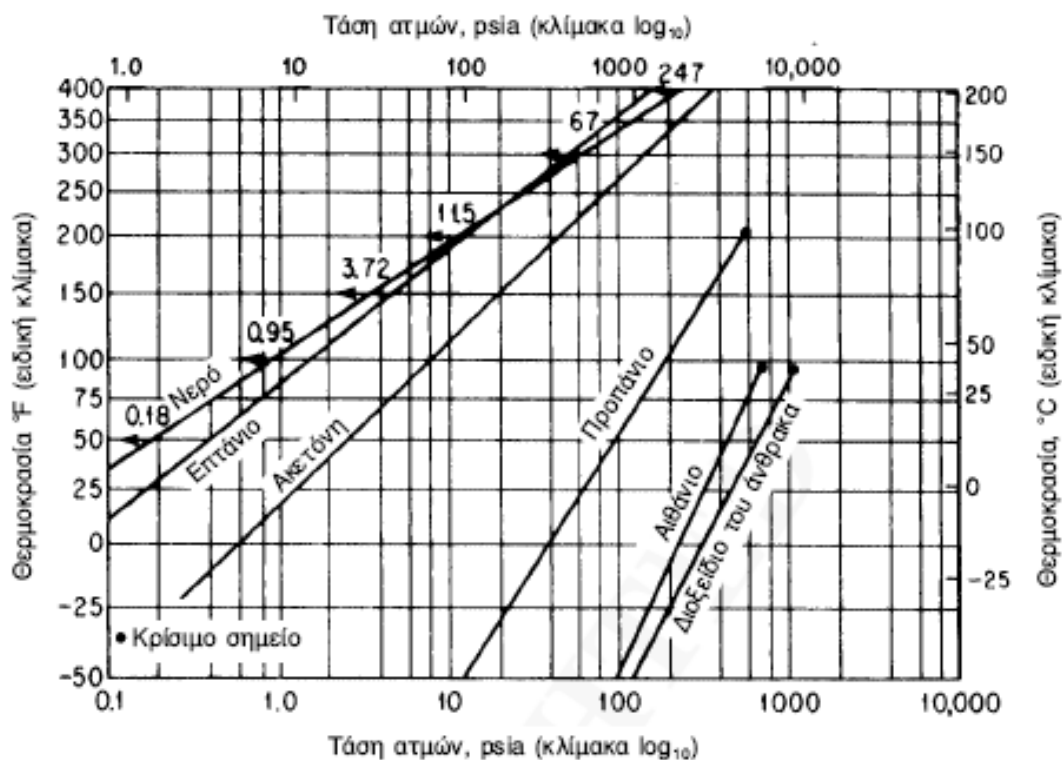
Επίσης

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{ολική}}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{αέρα}} + p_{\text{H}_2\text{O}}} = 1 - y_{\text{αέρα}}$$

Μεταβολή της τάσης ατμών με τη θερμοκρασία

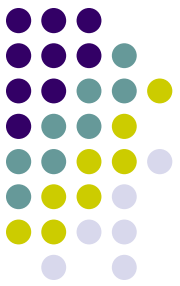


- Η μεταβολή της τάσης ατμών (p^*) με τη θερμοκρασία δεν είναι γραμμική.
- Για διευκόλυνση θέλουμε να είναι της μορφής $\psi = a\chi + b$, ή $(\log p^*) = a(1/T) + b$
- Επειδή τα πειραματικά δεδομένα δεν είναι απολύτως γραμμικά, οι αποκλίσεις από τη γραμμικότητα διορθώνονται με το Διάγραμμα Cox.



Σχήμα 16.8 Γραφική παράσταση Cox. Οι τάσεις των ατμών ενώσεων διαφορετικών από το νερό παρατηρείται ότι ταυτίζονται με ευθείες γραμμές όταν σχεδιάζονται σε ειδικές κλίμακες που αξιοποιούνται στις γραφικές παραστάσεις Cox χρησιμοποιώντας μία ουσία αναφοράς (εδώ το νερό).

Παράδειγμα Κορεσμού



Ως ένα αριθμητικό παράδειγμα, υποθέστε ότι έχετε ένα κορεσμένο αέριο, ας πούμε νερό σε αέρα στους 51°C , και η απόλυτη πίεση του συστήματος είναι ίση με 750mm Hg .

Ποια είναι η μερική πίεση του αέρα; Αν ο αέρας είναι κορεσμένος γνωρίζετε ότι η μερική πίεση των υδρατμών είναι ίση με p^* στους 51°C . Μπορείτε να βρείτε σε πίνακες ατμών ότι $p^*=98\text{mm Hg}$. Τότε:

$$p_{\text{αέρας}} = 750 - 98 = 652 \text{ mm Hg}$$

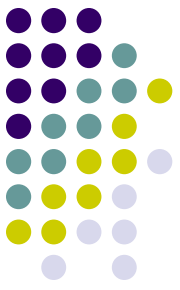
Ακόμη, το μίγμα αέρα-ατμού έχει την παρακάτω σύσταση

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{ολική}}} = \frac{98}{750} = 0.13$$

$$y_{\text{αέρας}} = \frac{p_{\text{αέρας}}}{p_{\text{ολική}}} = \frac{652}{750} = 0.87$$

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις συστάσεις αυτές κατά την εφαρμογή ισοζυγίων μάζας.

Συμπύκνωση (μετατροπή ενός ατμού σε υγρό)

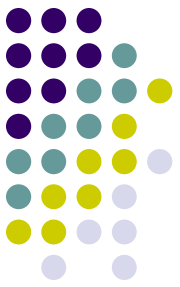


Μερικοί συνηθισμένοι τρόποι συμπύκνωσης:

1. Η ψύξη του σε σταθερή ολική πίεση συστήματος (φυσικά, ο όγκος μεταβάλλεται).
2. Η ψύξη από σταθερό ολικό όγκο συστήματος (η πίεση μεταβάλλεται).
3. Η ισοθερμοκρασιακή συμπίεσή του (ο όγκος μεταβάλλεται).

Είναι επίσης πιθανοί οι συνδυασμοί των παραπάνω τρόπων καθώς και χρήση άλλων διεργασιών.

Συμπύκνωση (με ψύξη)



Σαν παράδειγμα συμπύκνωσης, ας θεωρήσουμε την συμπύκνωση συστήματος σε σταθερή ολική πίεση, για ένα μίγμα αέρα με 10 % υδρατμούς. Επιλέξτε το μίγμα αέρα-υδρατμών σαν σύστημα. Αν το μίγμα ψυχθεί σε σταθερή ολική απόλυτη πίεση από τους 51 °C και 750 mm Hg (σημείο A για τους υδρατμούς στο Σχήμα 17.2), πόσο μπορεί να ελαττωθεί η θερμοκρασία πριν από την έναρξη της συμπύκνωσης (Σημείο B, που είναι ίδιο με το σημείο C στο Σχήμα 17.2α, αλλά διαφορετικό σημείο στο Σχήμα 17.2 β); Μπορείτε να ψύξετε το μίγμα μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει στο σημείο δρόσου που συνδέεται με την μερική πίεση του νερού

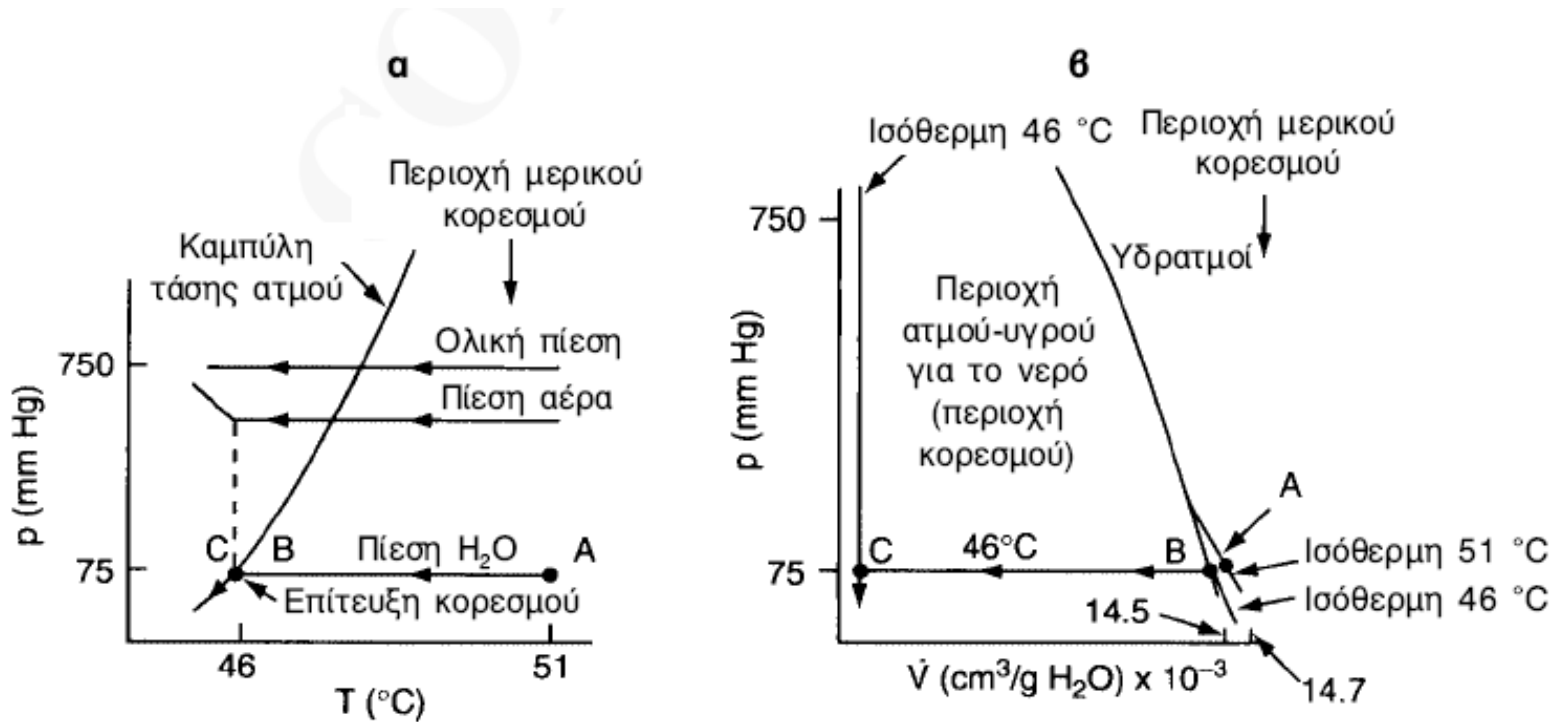
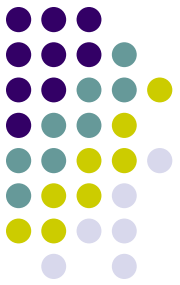
$$p_{\text{H}_2\text{O}}^* = p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.10(750) = 75 \text{ mm Hg}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}}^*(51^\circ\text{C}) = 98 \text{ mmHg}$$

Άρα δεν έχω κορεσμό

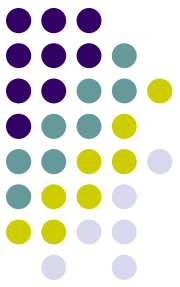
Από τους πίνακες ατμών μπορείτε να βρείτε ότι η αντίστοιχη θερμοκρασία είναι $T = 46^\circ\text{C}$ (σημεία B και C της καμπύλης της τάσης των ατμών, στο Σχήμα 17.2α). Μετά το σημείο B όπου $p^* = 75 \text{ mm Hg}$, αν η διεργασία συμπύκνωσης συνεχιζόταν, θα συνεχιζόταν σε σταθερή πίεση (75 mm Hg) και θερμοκρασία (46 °C) μέχρι τη συμπύκνωση όλου του υδρατμού (σημείο C του Σχήματος 17.2β). Η περαιτέρω ψύξη θα ελάττωνε την θερμοκρασία του υγρού νερού κάτω από τους 46 °C.

Συμπύκνωση (με ψύξη)

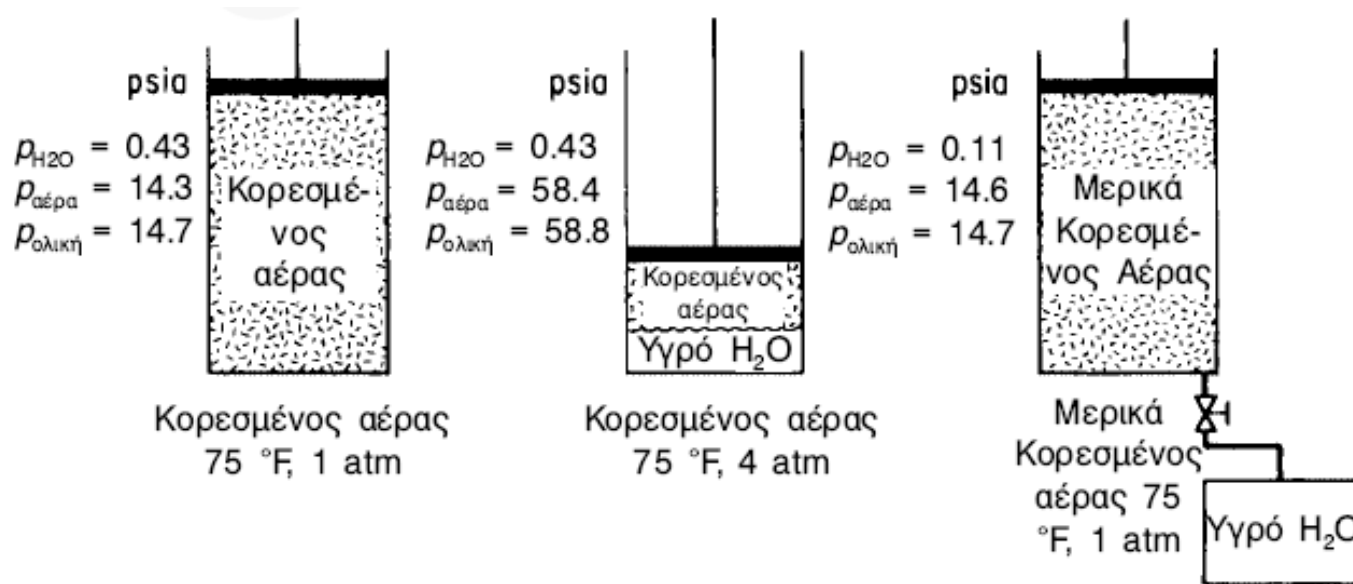


Σχήμα 17.2 Ψύξη ενός μίγματος αέρα-νερού σε σταθερή ολική πίεση. (Οι γραμμές και οι καμπύλες για το νερό είναι με τέτοιο τρόπο διαμορφωμένες για την καλύτερη απεικόνιση. Οι κλίμακες δεν είναι αριθμητικές μονάδες.)

Συμπύκνωση (με αύξηση πίεσης)

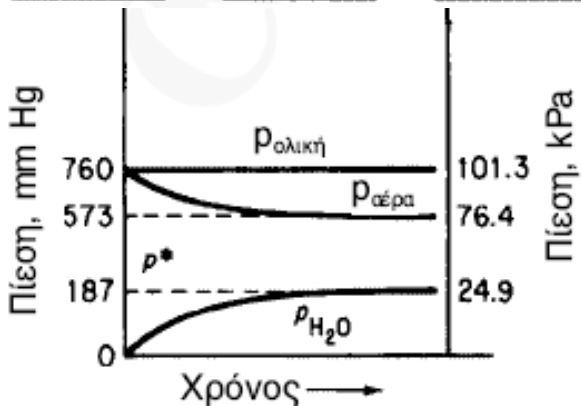
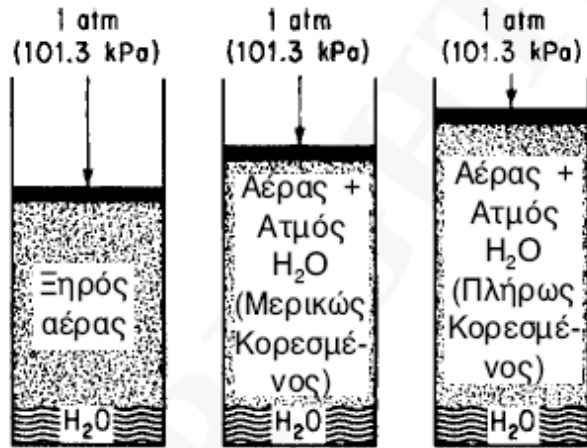
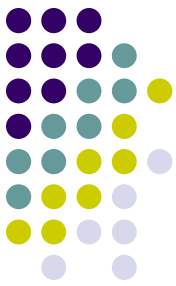


Η συμπύκνωση μπορεί επίσης να λάβει χώρα και όταν η πίεση σε ένα μίγμα ατμού-αερίου αυξηθεί. Αν 1 λίβρα κορεσμένου αέρα στους 75 °F συμπιεστεί ισοθερμικά (με ελάττωση του όγκου, φυσικά), το υγρό νερό θα κατακαθίσει από τον αέρα, όπως ακριβώς όταν στραγγίζουμε ένα βρεγμένο σφουγγάρι (βλέπε Σχήμα 17.3).



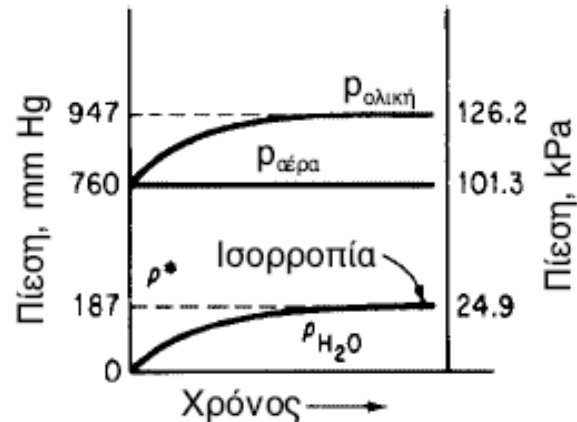
Σχήμα 17.3 Επίδραση της αύξησης της πίεσης στον κορεσμένο αέρα, απομάκρυνση του συμπυκνωμένου νερού, και επιστροφή στην αρχική πίεση με σταθερή θερμοκρασία.

Εξάτμιση (μετατροπή υγρού σε ατμό)



Σταθερή Θερμοκρασία
και Ολική Πίεση
(Μεταβλητός Όγκος)

α

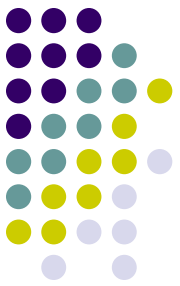


Σταθερή Θερμοκρα-
σία και Όγκος
(Μεταβλητή Πίεση)

β

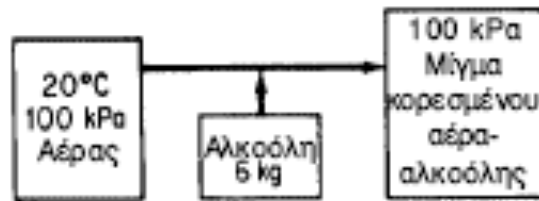
Σχήμα 17.4 Μεταβολή της μερικής και ολικής πίεσης κατά την εξάτμιση του νερού σε αρχικά ξηρό αέρα: (α) σε σταθερή θερμοκρασία και ολική πίεση (μεταβλητός όγκος), (β) σε σταθερή θερμοκρασία και όγκο (μεταβλητή πίεση).

Παράδειγμα εξάτμισης



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 17.5 Εξάτμιση για Κορεσμό Ξηρού Αέρα

Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός κυβικών μέτρων ξηρού αέρα στους 20 °C και 100 kPa που είναι απαραίτητος για την εξάτμιση 6.0 kg υγρής αιθυλικής αλκοόλης αν η ολική πίεση παραμένει σταθερή σε 100 kPa και η θερμοκρασία διατηρείται στους 20 °C; Υποθέστε ότι ο αέρας φτάνει στην αλκοόλη με τέτοιο τρόπο ώστε η πίεση εξόδου του μίγματος αέρα-αλκοόλης να είναι ίση με 100 kPa.



$$p^*_{\text{αλκοόλης}} \text{ στους } 20 \text{ }^\circ\text{C} = 5.93 \text{ kPa}$$

$$\text{Μορ. Β. αιθυλικής αλκοόλης} = 46.07$$

Βάση: 6.0 kg αλκοόλης

Η αναλογία των moles της αιθυλικής αλκοόλης προς τα moles του αέρα στο τελικό μίγμα αερίων είναι ίση με την αναλογία των μερικών πιέσεων των δύο αυτών ενώσεων. Επειδή γνωρίζουμε τα moles της αλκοόλης, μπορούμε να βρού-

$$\frac{P_{\text{αλκοόλης}}^*}{P_{\text{αέρα}}} = \frac{n_{\text{αλκοόλης}}}{n_{\text{αέρα}}}$$

με τον αριθμό των moles του αέρα που απαιτούνται για την εξάτμιση.

Μόλις υπολογίσετε τον αριθμό moles του αέρα, μπορείτε να εφαρμόσετε τον νόμο των ιδανικών αερίων. Επειδή $P_{\text{αλκοόλης}}^* = 5.93 \text{ kPa}$

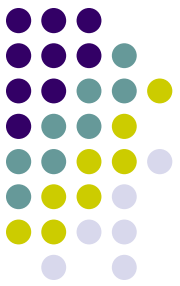
$$P_{\text{αέρα}} = P_{\text{ολική}} - P_{\text{αλκοόλης}}^* = (100 - 5.93) \text{ kPa} = 94.07 \text{ kPa}$$

$$\frac{6.0 \text{ kg αλκοόλης}}{46.07 \text{ kg αλκοόλης}} \left| \frac{1 \text{ kg mol αλκοόλης}}{5.93 \text{ kg mol αλκοόλης}} \right| \left| \frac{94.07 \text{ kg mol αέρα}}{1 \text{ kg mol αέρα}} \right| = 2.07 \text{ kg mol αέρα}$$

$$V_{\text{αέρα}} = \frac{2.07 \text{ kg mol αέρα}}{1 \text{ kg mol αέρα}} \left| \frac{8.324 \text{ (kPa)(m}^3\text{)}}{1 \text{ (kg mol)(K)}} \right| \left| \frac{293 \text{ K}}{100 \text{ kPa}} \right| = 50.4 \text{ m}^3 \text{ στους } 20 \text{ }^\circ\text{C και } 100 \text{ kPa}$$



Αλλιώς



Μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό λέγοντας ότι ο τελικός όγκος περιέχει

$V \text{ m}^3$ αλκοόλης στα 5.93 kPa και 20 °C

$V \text{ m}^3$ αέρα στα 94.07 kPa και 20 °C

$V \text{ m}^3$ αέρα συν αλκοόλη στα 100 kPa και 20 °C

Έτσι, ο όγκος θα μπορούσε να υπολογιστεί από τις πληροφορίες που σχετίζονται με την αλκοόλη, χρησιμοποιώντας τον νόμο των ιδανικών αερίων

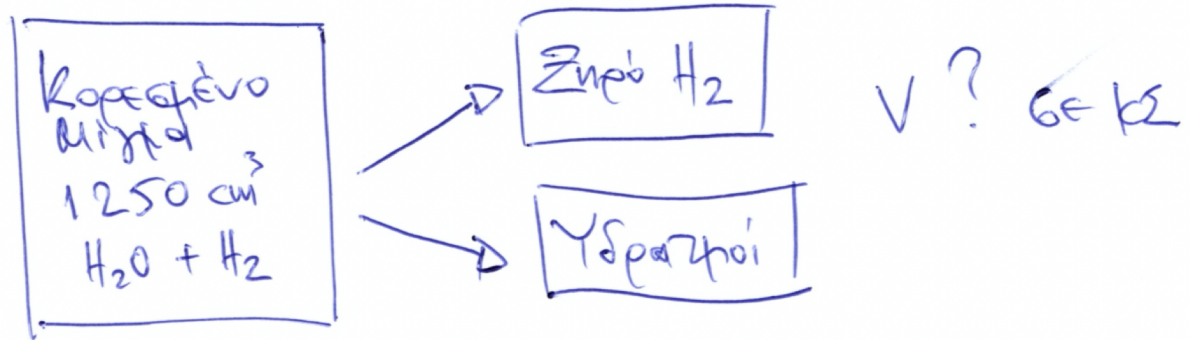
$$V_{\text{αλκοόλης}} = \left(\frac{6}{46.07} \right) \left| \frac{8.314}{5.93} \right| \frac{293}{5.93} = 53.5 \text{ m}^3 \text{ στους } 20 \text{ }^\circ\text{C και } 5.93 \text{ kPa}$$

Ο όγκος του αέρα είναι ο ίδιος αλλά ο αέρας είναι σε 94.07 kPa και 20 °C.

Μπορείτε να προσαρμόσετε τον όγκο της αλκοόλης στα 53.5 m³ ώστε να υπολογίσετε τον όγκο του αέρα:

$$V_{\text{αέρα}} = \frac{53.5 \text{ m}^3}{100 \text{ m}^3_{\text{ολική}}} \left| \frac{94.07 \text{ m}^3_{\text{αέρα}}}{100 \text{ m}^3_{\text{ολική}}} \right| = 50.3 \text{ m}^3 \text{ ξηρού αέρα σε } 100 \text{ kPa και } 20$$

Παράδειγμα



$$742 \text{ mm Hg}$$

$$30^\circ \text{C}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}}^*(30^\circ\text{C}) = 32 \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{ολ}} = P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} \quad \Rightarrow \quad 742 = P_{\text{H}_2} + 32 \Rightarrow P_{\text{H}_2} = 710 \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^*$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{710 \cdot 1250}{303} = \frac{760 \cdot V_2}{273} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{\text{H}_2}(760 \text{ mm Hg}, 0^\circ\text{C}) = 1051 \text{ cm}^3$$

Vapor Pressure of Water from 0 °C to 100 °C

T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)
0	4.6	17	14.5	35	42.2	53	107.2	71	243.9
1	4.9	18	15.5	36	44.6	54	112.5	72	254.6
2	5.3	19	16.5	37	47.1	55	118.0	73	265.7
3	5.7	20	17.5	38	49.7	56	123.8	74	277.2
4	6.1	21	18.7	39	52.4	57	129.8	75	289.1
5	6.5	22	19.8	40	55.3	58	136.1	76	301.4
6	7.0	23	21.1	41	58.3	59	142.6	77	314.1
7	7.5	24	22.4	42	61.5	60	149.4	78	327.3
8	8.1	25	23.8	43	64.8	61	156.4	79	341.0
9	8.6	26	25.2	44	68.3	62	163.8	80	355.1
10	9.2	27	26.7	45	71.9	63	171.4	81	369.7
11	9.8	28	28.4	46	75.7	64	179.3	82	384.9
12	10.5	29	30.0	47	79.6	65	187.5	83	400.6
13	11.2	30	31.8	48	83.7	66	196.1	84	416.8
14	12.0	31	33.7	49	88.0	67	205.0	85	433.6
15	12.8	32	35.7	50	92.5	68	214.2	86	450.9
16	13.6	33	37.7	51	97.2	69	223.7	87	468.7
		34	39.9	52	102.1	70	233.7	88	487.1

20°C, $p^*=17.5$ mm Hg

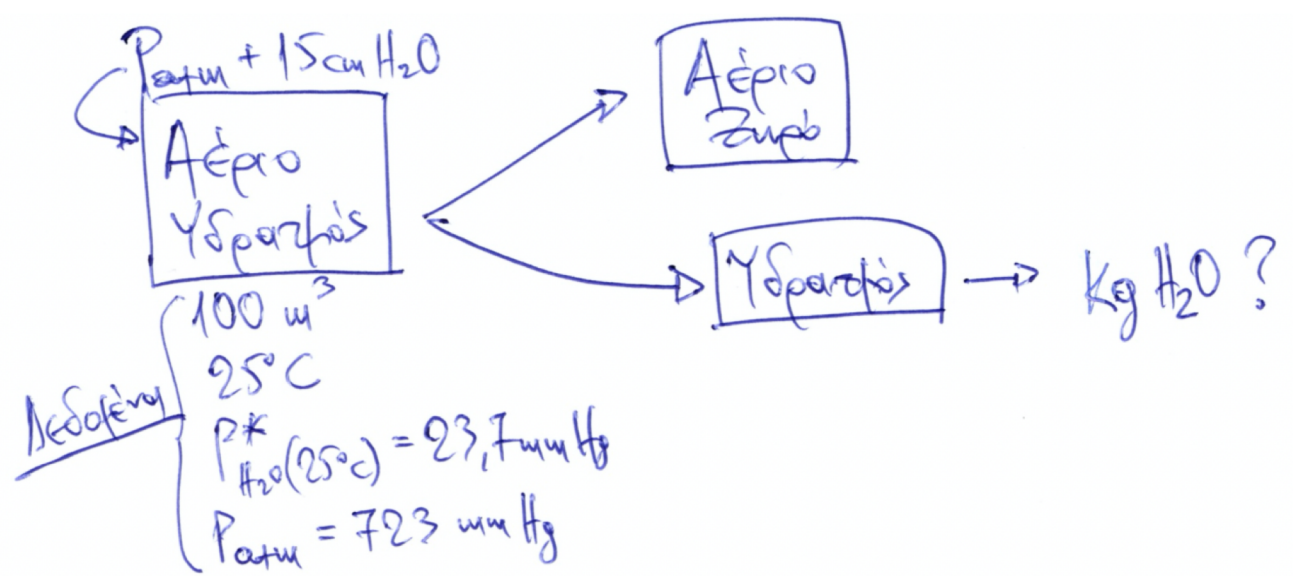
50°C: $p^*=92.5$ mm Hg

75°C: $p^*=289.1$ mm Hg

80°C: $p^*=355.1$ mm Hg

90°C: $p^*=526.0$ mm Hg

Παράδειγμα



$$P_{\text{ολ}} = P_{\alpha\tau\mu} + 15 \text{ cm H}_2\text{O} = 723 + 11 \text{ mmHg} \Rightarrow P_{\text{ολ}} = 734 \text{ mmHg}$$
$$\left(\frac{15 \text{ cm H}_2\text{O}}{1033 \text{ cm H}_2\text{O}} \cdot 760 \text{ mmHg} \right)$$

$$P_{\text{ολ}} = P_{\alpha\epsilon\text{ρι}\alpha} + P_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow 734 = P_{\alpha\epsilon\text{ρι}\alpha} + 23,7 \Rightarrow P_{\alpha\epsilon\text{ρι}\alpha} = 710,3 \text{ mmHg}$$

100 m³ Ηγγρας

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{23,7 \cdot 100}{298} = \frac{760 \cdot V_2}{273} \Rightarrow V_2 = 2,85 \text{ m}^3$$

$$2,85 \text{ m}^3 \times \frac{1}{22,4} \times 18 = 2,3 \text{ kg H}_2\text{O}$$

Chinook, ο άνεμος που τρώει το χιόνι



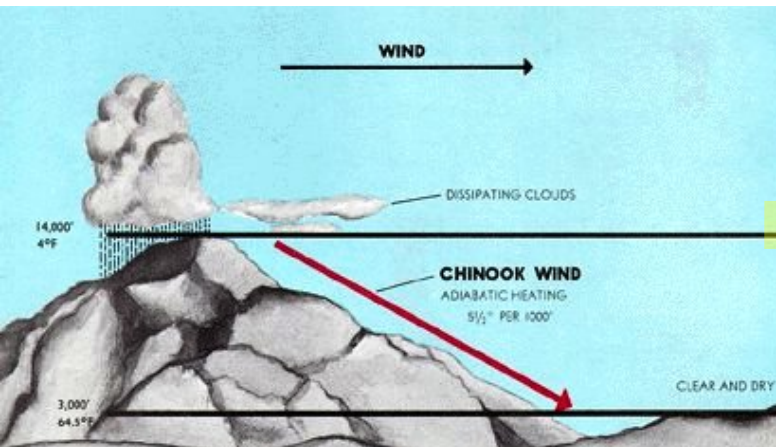
Κάθε χρόνο στην περιοχή γύρω από την Κοιλάδα Bow River στον νοτιοδυτικό Καναδά, επικρατούν θερμοκρασίες που μπορούν να φτάσουν τους -40°F . Και σχεδόν κάθε χρόνο, όταν φυσά ο άνεμος Chinook, η θερμοκρασία σκαρφαλώνει στους 60°F . Σε λίγες μόνο ώρες στην περιοχή αυτή του Καναδά παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 100°F . Πως μπορεί να συμβεί αυτό;

Ο αέρας πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό είναι πάντα υγρός λόγω της διαρκούς εξάτμισης του νερού του ωκεανού. Ο υγρός αυτός αέρας ταξιδεύει από τον Ειρηνικό Ωκεανό ως τις παρυφές των Βραχωδών Όρων, επειδή οι αέριες μάζες τείνουν να κινούνται από δυτικά προς ανατολικά.

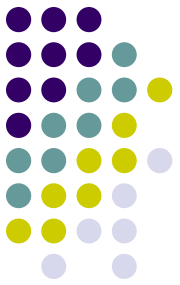
Καθώς ο υγρός αυτός αέρας ανεβαίνει τις δυτικές πλαγιές του βουνού, συναντά χαμηλότερες θερμοκρασίες οπότε το νερό του αέρα συμπυκνώνεται. Σε περίπτωση βροχής, οι αέριες μάζες γίνονται βαρύτερες καθώς χάνουν υγρασία με τη μορφή βροχής. Καθώς ο αέρας γίνεται ξηρότερος, γίνεται και βαρύτερος. Ενώ ο βαρύτερος ξηρός αέρας κατεβαίνει την ανατολική πλαγιά του βουνού, η ατμοσφαιρική πίεση που του ασκείται αυξάνει καθώς το αέριο πλησιάζει στο έδαφος.

...ο αέρας γίνεται πιο ζεστός με την αύξηση της πίεσης. Καθώς ο αέρας κατεβαίνει την πλευρά του βουνού, η θερμοκρασία του αυξάνει 5.5°F κάθε 1000 πόδια. Έτσι έχουμε έναν ζεστό, βαρύ και ξηρό αέρα που κατεβαίνει προς την Κοιλάδα Bow River στην βάση του βουνού. Ο Chinook είναι αυτός ο ζεστός αέρας που κινείται με ταχύτητα 50 mph.

Θυμηθείτε ότι είναι πια χειμώνας στην Κοιλάδα Bow River, το έδαφος είναι καλυμμένο με χιόνι, και επικρατεί αρκετό κρύο (-40°F). Ο αέρας είναι ζεστός και έτσι η θερμοκρασία στην Κοιλάδα αυξάνει δραματικά. Επειδή ο αέρας είναι πολύ ξηρός, απορροφά νερό από το χιόνι που λιώνει. Η λέξη Chinook είναι μία Ινδιάνικη λέξη που σημαίνει “αυτός που τρώει χιόνι.” Ο Chinook μπορεί να φάει μέχρι και ένα πόδι χιονιού στη διάρκεια μιας νύχτας. Ο καιρός γίνεται πιο ζεστός και το χιόνι εξαφανίζεται. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που προκαλεί την περιέργεια.



Θέματα



Η υγρασία σε ένα βιομηχανικό αέριο ρεύμα μπορεί να αποβληθεί μεταξύ άλλων με τους παρακάτω τρόπους:

- α) μείωση της θερμοκρασίας,
- β) μείωση της πίεσης,
- γ) αύξηση της θερμοκρασίας,
- δ) αύξηση της πίεσης,
- ε) το α ή/και το δ,
- στ) το β η/και το γ

(ισχύει αρνητική βαθμολογία -50%)

0.6 m³/s αερίου θα ξηρανθεί από σημείο δρόσου 294^oK σε σημείο δρόσου 277.5^oK. Πόσο νερό θα απομακρυνθεί και πόσος θα είναι ο όγκος του αερίου μετά την ξήρανση; (δίνονται: $P_{H_2O, 294^{\circ}K} = 2.5 \text{ KN/m}^2$, $P_{H_2O, 277.5^{\circ}K} = 0.85 \text{ KN/m}^2$)

Παράδειγμα

Στο επιπέδο άρδευσης 294°K το αέριο είναι κορεσμένο
σε νερό και η $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Μάζα H}_2\text{O}: \quad PV &= \frac{m}{M_B} RT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{P \cdot M_B}{RT} = \frac{2,5 \cdot 18}{8,314 \cdot 294} = \\ &= \boxed{0,0184 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3} \end{aligned}$$

Μετά τη γύριση και την αφαίρεση H_2O η μάζα H_2O στο αέριο ήταν
δα είναι:

$$\frac{m}{V} = \frac{P \cdot M_B}{RT} = \frac{0,85 \cdot 18}{8,314 \cdot 277,5} = \boxed{0,0066 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3}$$

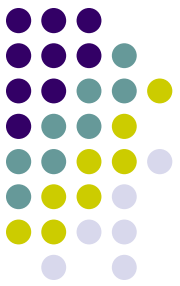
Άρα θα αφαιρεθούν $0,0184 - 0,0066 = 0,0118 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3$ αέριων ή

$$0,0071 \text{ kg H}_2\text{O/s} \quad \checkmark$$

$$3,9 \times 10^{-4} \text{ kg-mole H}_2\text{O/s} \quad \checkmark$$

$$0,0088 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O/s}$$

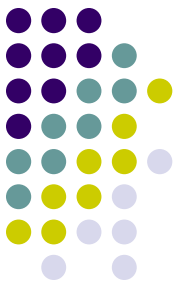
$$\text{Ο όγκος / παροχή αέρα γίνεται } 0,6 - 0,0088 = \boxed{0,519 \text{ m}^3 \text{ αέριων/s}}$$



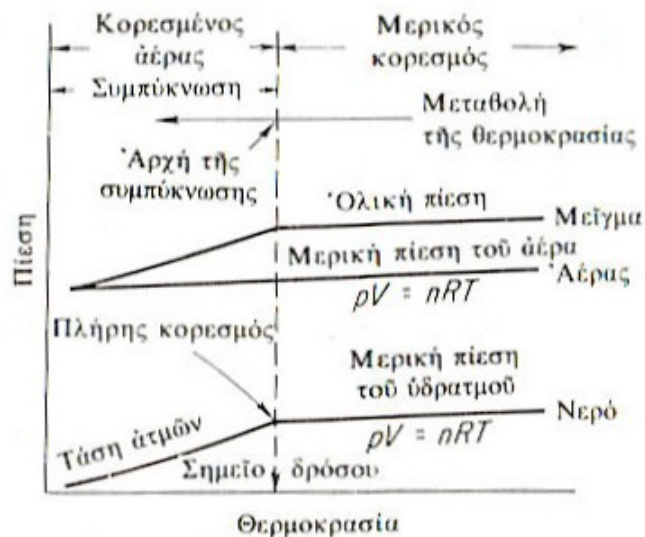
ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ
ΑΕΡΙΩΝ-ΥΓΡΩΝ (ΜΕΡΙΚΟΣ
ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑ)**

Μερικός κορεσμός και υγρασία

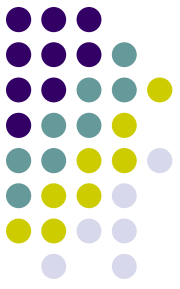


- Όταν ο χρόνος επαφής αερίου-ατμού δεν είναι αρκετός, δεν επέρχεται ισορροπία (κορεσμός), **τότε**
- Η μερική πίεση του ατμού στο αέριο είναι $<$ τάσης ατμών του υγρού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία, και έχουμε **μερικό κορεσμό**
- Μερικός κορεσμός** \Rightarrow Μίγμα από 2 ή περισσότερα **Πραγματικά Αέρια**
- Κάτω από κατάλληλες συνθήκες ένα (1) από τα αέρια συστατικά μπορεί να συμπυκνωθεί μερικά. **Μέχρι το Σημείο Δρόσου εφαρμόζονται οι εξισώσεις των αερίων μιγμάτων (Ιδανικά Αέρια)**



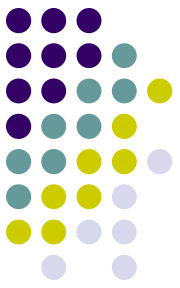
- Σχήμα.** Μετατροπή ενός ακόρεστου μίγματος αέρα-υδρατμών σε κορεσμένο με μείωση της θερμοκρασίας υπό σταθερό όγκο.

Μερικός κορεσμός και υγρασία



- Όταν ο χρόνος επαφής αερίου-ατμού δεν είναι αρκετός, δεν επέρχεται ισορροπία (κορεσμός), τότε
- Η μερική πίεση του ατμού στο αέριο είναι $<$ τάσης ατμών του υγρού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία, και έχουμε μερικό κορεσμό
- **Μερικός κορεσμός** \Rightarrow Μίγμα από 2 ή περισσότερα **Πραγματικά Αέρια**
- Κάτω από κατάλληλες συνθήκες ένα (1) από τα αέρια συστατικά μπορεί να συμπυκνωθεί μερικά. **Μέχρι το Σημείο Δρόσου εφαρμόζονται οι εξισώσεις των αερίων μγμάτων (Ιδανικά Αέρια)**
- Όταν ο ατμός είναι υδρατμός και το αέριο αέρας, χρησιμοποιείται ο όρος **Υγρασία**.

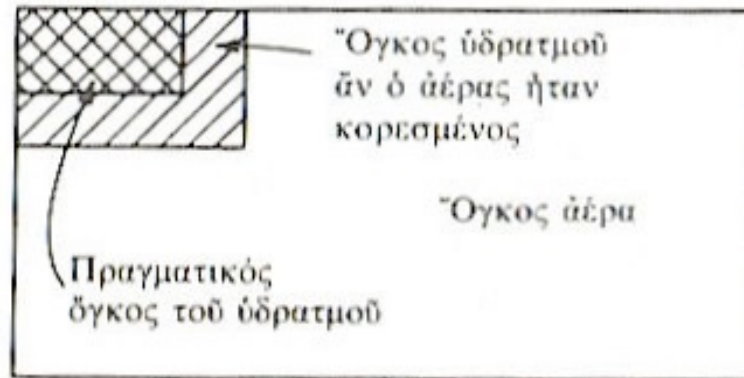
Σχετικός κορεσμός



$$\blacksquare \quad RS = \frac{P_{\text{ατμού}}}{P_{\text{κορ}}} = \frac{P_1}{P_1^*} = \frac{P_1/P_t}{P_1^*/P_t} = \frac{V_1/V_t}{V_{\text{κορ}}/V_t} = \frac{n_1}{n_{\text{κορ}}} = \frac{Kg_1}{Kg_{\text{κορ}}}$$

$P_{\text{ατμού}}$ ή P_1 : Μερική πίεση του ατμού στο αέριο μίγμα

$P_{\text{κορ.}}$ ή P_1^* : Μερική πίεση του ατμού στο κορεσμένο αέριο μίγμα (δηλ. η τάση ατμών)



Σχήμα. Αέριο μερικά κορεσμένο με υδρατμό.

$$\blacksquare \quad \text{Relative Humidity (RH)} = \frac{P_{H_2O}}{P^*_{H_2O}} \times 100$$

Μοριακός Κορεσμός

(για δυαδικό σύστημα, 1:ατμός, 2:ξηρό αέριο)

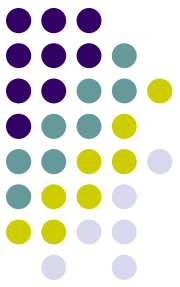


$$\text{MK} = \frac{n_{\text{ατμού}}}{n_{\text{αερίου}}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_t - n_1} = \frac{P_1}{P_t - P_1} = \frac{V_1}{V_t - V_1}$$

$$\text{Humidity (H)} = \frac{\text{Kg υδρατμών}}{\text{Kg Ξηρού Αέρα}}$$

Απόλυτος Κορεσμός

(για δυαδικό σύστημα, 1:ατμός, 2:ξηρό αέριο)



$$AS = \frac{\frac{\text{(mole ατμού)}}{\text{(mole ξηρού αερίου)}} \text{(πραγματικά)}}{\frac{\text{(mole ατμού)}}{\text{(mole ξηρού αερίου)}} \text{(κορεσμός)}}$$

$$AS = \frac{\frac{n_1 \text{ (πραγμ.)}}{n_2 \text{ (κορ.)}}}{\frac{P_1 \text{ (πραγμ.)}}{P_2 \text{ (κορ.)}}} = \frac{\frac{P_1}{P_2}}{\frac{P_1^*}{P_2}} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{P_2}{P_1^*} = \frac{P_1}{P_1^*} = \frac{P_1}{P_1^*} \left(\frac{P_t - P_1^*}{P_t - P_1} \right) = RS \left(\frac{P_t - P_1^*}{P_t - P_1} \right)$$

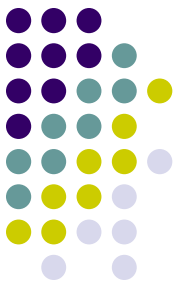
Δηλαδή: $AS = RS$

όταν $P_1^* = P_1$ (συνθήκες κορεσμού)

ή όταν $P_1^* = P_1 = 0$ (σε 0 % κορεσμό)

αλλιώς $AS < RS$

Ισοζύγια μάζας με συμπύκνωση και εξάτμιση

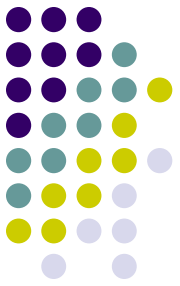


- Εξετάστηκαν παραδείγματα ξήρανσης με νερό και κάποιο ξηρό υλικό (π.χ. χαρτοπολτός)
- Τώρα προσθέτουμε και τον αέρα (δηλ. αέρας, υδρατμοί, ξηρό υλικό)
- Σημείο δρόσου γνωστό (πότε συμπυκνώνεται η 1^η σταγόνα) **ΑΡΑ** μερική πίεση υδρατμών στο μίγμα γνωστή
- Μια ποσότητα αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση συγκρατεί μόνο μια ορισμένη μέγιστη ποσότητα υδρατμών **ΚΑΙ** η ποσότητα των υδρατμών εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα

$$\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{μίσματος}}} = \frac{N_{\text{H}_2\text{O}}}{N_{\text{μίσματος}}}$$

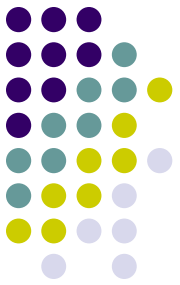
- **Κάθε** μείωση της θερμοκρασίας (δηλ. μείωση της τάσης ατμών $P_{\text{H}_2\text{O}}$) **(1)**
- **Κάθε** αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος (δηλ. της $P_{\text{μίσματος}}$) (βλ. σφουγγάρι) **(2)**
- **Οδηγεί** σε μείωση του $N_{\text{H}_2\text{O}}$, δηλ. σε αποβολή νερού, δηλ. σε μείωση συγκράτησης νερού στην ατμόσφαιρα
- **Τα (1) και (2) είναι οι βιομηχανικοί τρόποι αποβολής νερού από αέρια ρεύματα.**

Παράδειγμα



Σε μια βιομηχανική διεργασία που χρησιμοποιείται το βενζένιο (ΜΒ:78) ως διαλύτης, αυτό εξατμίζεται σε ξηρό άζωτο (ΜΒ:28). Το μίγμα που προκύπτει σε θερμοκρασία 297 °Κ και πίεση 101,3 ΚΝ/μ² έχει σχετική υγρασία 60%. Απαιτείται η ανάκτηση 80% του βενζενίου στους 283 °Κ με συμπίεση σε κατάλληλη πίεση. Ποια είναι αυτή? ($P^*_{\text{benzene}, 297 \text{ K}}=12,2 \text{ ΚΝ/μ}^2$, $P^*_{\text{benzene}, 283 \text{ K}}=6 \text{ ΚΝ/μ}^2$)

Έννοιες : α) Υγρασία (χωρίς νερό), β) μάζα = πυκνότητα για τη μονάδα του όγκου



Λύση

$$RH = 0,6 = \frac{P_b}{P_b^*} = \frac{P_b}{12,2} \Rightarrow P_b = 7,32 \frac{KN}{m^2} \text{ (Μερ. πίεση βενζ. στο μίγμα } N_2 \text{ - βενζ.)}$$

Προσδιορισμός βάρους βενζενίου και αζώτου σε αυθαίρετο όγκο (π.χ. 1 m^3) αερίου

$$PV = nRT \Rightarrow PV = \frac{m}{MB} RT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{P \cdot MB}{RT} \Rightarrow m_b = \frac{7,32 \times 78}{8,314 \times 297} = 0,231 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\text{Ομοίως } m_{N_2} = \frac{(101,3 - 7,32) \times 28}{8,314 \times 297} = 1,066 \frac{Kg}{m^3}$$

Επέκταση ορισμού Υγρασίας

$$\text{Humidity (H)} = \frac{Kg \text{ υδρατμών}}{Kg \text{ Ξηρού Αέρα}} = \frac{0,231}{1,066} = 0,217 \frac{Kg \text{ βενζενίου}}{Kg \text{ Ξηρού αζώτου}}$$

$$\text{Ανάκτηση 80\% βενζενίου} \Rightarrow \text{ελάττωση 80\% } \tau \tau \text{ υγρασία} \Rightarrow H = 0,217 \times 0,2 \Rightarrow H = 0,0433 \frac{Kg \text{ βεν.}}{Kg \text{ Ξ.Αζ.}}$$

Με τη ψύξη και συμπύκνωση / συμπίεση, ατμοί βενζενίου θα είναι σε επαφή με υγρό βενζένιο και το άζωτο θα είναι κορεσμένο σε βενζένιο.

Εφαρμόζοντας το νόμο Dalton:

$$\frac{P_b}{P_{N_2}} = \frac{n_b}{n_{N_2}} \Rightarrow \frac{6}{P-6} = \frac{\frac{0,0433}{78}}{\frac{1}{28}} \Rightarrow P = 392 \frac{KN}{m^2}$$

Παράδειγμα 3.24 (Σχετική Υγρασία)

Η ΕΜΥ ανακοίνωσε ότι η θερμοκρασία θα φτάσει τους 34°C , η σχετική υγρασία θα είναι 43%, η ατμοσφ. πίεση 754 mmHg . Πόσα kg υδρατμών θα περιέχονται σε 1 m^3 αέρα. Ποιό θα είναι το εύρος δρόμων του αέρα?

Λύση

- $P_{\text{H}_2\text{O}}^* (34^{\circ}\text{C}) = 40 \text{ mmHg}$ (βλ. Πίνακας Παραρτήματος)
- Σχετ. Υγρασία = $\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}^*} \cdot 100 \Rightarrow 43 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{40} \cdot 100 \Rightarrow P_{\text{H}_2\text{O}} = 17 \text{ mmHg}$
- $P_{\text{αέρα}} = P_{\text{ολ}} - P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{ατμ}} - P_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow P_{\text{αέρα}} = 754 - 17 \Rightarrow P_{\text{αέρα}} = 737 \text{ mmHg}$
- | | | | | |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 m^3 | 273°K | 17.2 mmHg | 1 kg-mole | $18 \text{ kg H}_2\text{O}$ |
| | 307°K | 760 mmHg | 22.4 m^3 | 1 kg-mole |

 = $0,016 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{m}^3$ αέρα όπως 34°C και $17,2 \text{ mmHg}$
- Η επίλυση $\left(\text{Σχετ. Υγρασία} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}^*} \cdot 100 \right)$ δείχνει ότι καθώς το αέριο γύριζε η % σχετ. υγρασία αυξάνει αφού το $P_{\text{H}_2\text{O}}$ παραμένει σταθερό ενώ το $P_{\text{H}_2\text{O}}^*$ (πίεση ατμών) ελαττώνεται με τη θερμοκρασία.
Όταν η σχετ. υγρασία γίνει 100%, δηλ. $P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^*$ ο υδρατμός θα αρχίσει να συμπυκνώνεται (εύρος δρόμων). Η πίεση ατμών λοιπόν των 17 mmHg ($P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^*$) αντιστοιχεί σε θερμοκρασία $19,5^{\circ}\text{C}$

Vapor Pressure of Water from 0 °C to 100 °C

T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)
0	4.6	17	14.5	35	42.2	53	107.2	71	243.9
1	4.9	18	15.5	36	44.6	54	112.5	72	254.6
2	5.3	19	16.5	37	47.1	55	118.0	73	265.7
3	5.7	20	17.5	38	49.7	56	123.8	74	277.2
4	6.1	21	18.7	39	52.4	57	129.8	75	289.1
5	6.5	22	19.8	40	55.3	58	136.1	76	301.4
6	7.0	23	21.1	41	58.3	59	142.6	77	314.1
7	7.5	24	22.4	42	61.5	60	149.4	78	327.3
8	8.1	25	23.8	43	64.8	61	156.4	79	341.0
9	8.6	26	25.2	44	68.3	62	163.8	80	355.1
10	9.2	27	26.7	45	71.9	63	171.4	81	369.7
11	9.8	28	28.4	46	75.7	64	179.3	82	384.9
12	10.5	29	30.0	47	79.6	65	187.5	83	400.6
13	11.2	30	31.8	48	83.7	66	196.1	84	416.8
14	12.0	31	33.7	49	88.0	67	205.0	85	433.6
15	12.8	32	35.7	50	92.5	68	214.2	86	450.9
16	13.6	33	37.7	51	97.2	69	223.7	87	468.7
		34	39.9	52	102.1	70	233.7	88	487.1

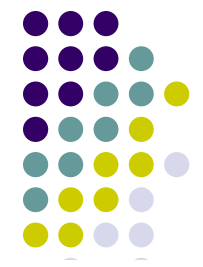
20°C, $p^*=17.5$ mm Hg

50°C: $p^*=92.5$ mm Hg

75°C: $p^*=289.1$ mm Hg

80°C: $p^*=355.1$ mm Hg

90°C: $p^*=526.0$ mm Hg



Μίγμα αερίων αλκοόλης και αέρα έχει σχετικό κορεσμό 50% στους 20°C και 750 mm Hg.
Να υπολογιστεί η ένταση του μίγματος και ο μοριακός κορεσμός.

Λύση

Η $P_{\text{αλκοόλης}}^* (20^\circ\text{C}) = 120 \text{ mm Hg}$ (από πίνακες)

• $RS (\text{σχετ. κορεσμός}) = \frac{P_{\text{αλκ.}}}{P_{\text{αλκοόλης}}^*} \Rightarrow 0,5 = \frac{P_{\text{αλκ.}}}{120} \Rightarrow P_{\text{αλκ.}} = 60 \text{ mm Hg}$

• $\frac{N_{\text{αλκ.}}}{N_{\text{αλκ.}} + N_{\text{αέρα}}} = \frac{P_{\text{αλκ.}}}{P_{\text{οξ}}} \Rightarrow \frac{N_{\text{αλκ.}}}{N_{\text{αλκ.}} + N_{\text{αέρα}}} = \frac{60}{750} = 0,08 \Rightarrow$

Αλκοόλη	8%
Αέρας	92%

• Μοριακός κορεσμός = $\frac{N_{\text{αλκ.}}}{N_{\text{αέρα}}} = \frac{P_{\text{αλκ.}}}{P_{\text{αέρα}}} = \frac{P_{\text{αλκ.}}}{P_{\text{οξ}} - P_{\text{αλκ.}}} \Rightarrow MK = \frac{60}{750 - 60} = 0,086 \frac{\text{mole Αλκοόλης}}{\text{mole αέρα}}$