

# Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών

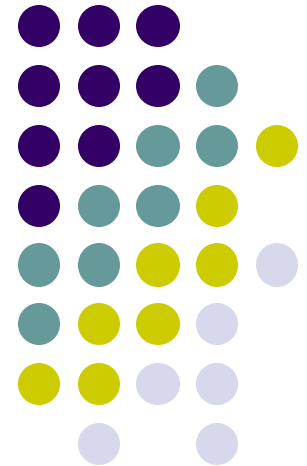
6ο εξάμηνο

Μέρος 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγικά (διαστ., πυκν., θερμ., πίεση, κτλ.) ✓

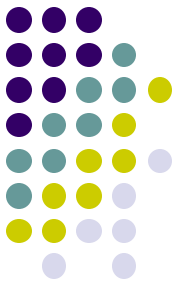
Μέρος 2<sup>ο</sup> : Ισοζύγια μάζας ✓

Μέρος 3<sup>ο</sup> :

**ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ  
ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ**



# ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ



Εκτός ύλης

13. Ιδανικά αέρια
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

## 8<sup>η</sup> Έκδοση

Κεφ. 7. Ιδανικά και Πραγματικά Αέρια

7.1 Ιδανικά Αέρια

7.1.1

7.1.2

7.1.3

Κεφ. 8. Ισορροπία Πολυφασικών Μιγμάτων

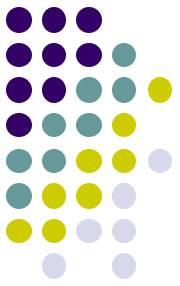
8.1

8.2

8.3

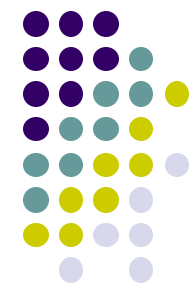
8.4

# ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ



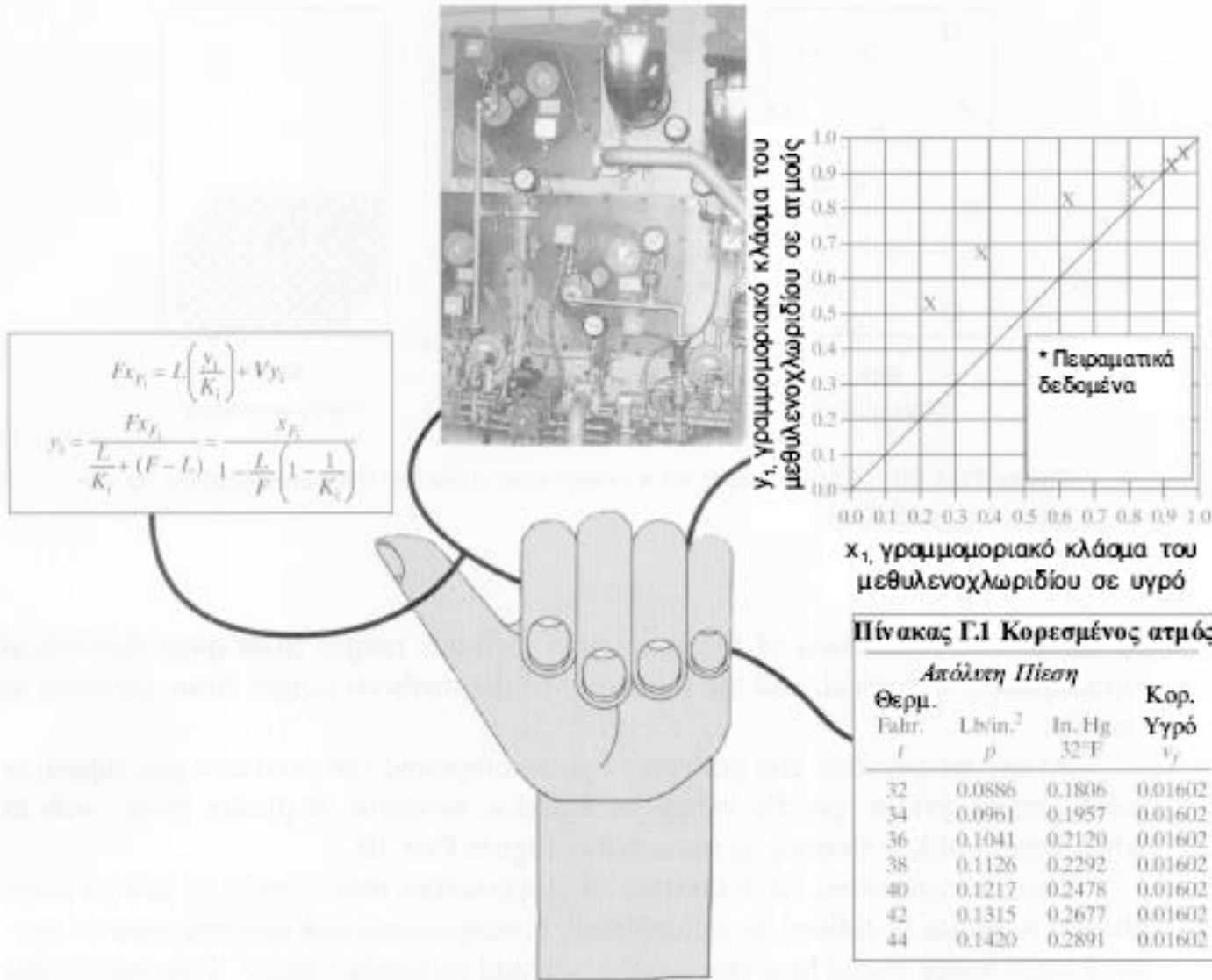
- Πρόβλεψη των φυσικών ιδιοτήτων (πίεση, όγκος θερμοκρασία, κτλ.) καθαρών συστατικών και μιγμάτων. Εξοικείωση με την πρόβλεψη φυσικών ιδιοτήτων, αφού οι τιμές τους αποτελούν τη βάση για το σχεδιασμό, τη λειτουργία και την αντιμετώπιση προβλημάτων.
- Ιδιότητες ρευστών & στερεών απαραίτητες για σχεδιασμό διεργασιών και λήψη αποφάσεων, π.χ. υπολογισμός όγκου δοχείου που απαιτείται για μια διεργασία (απαιτείται η γνώση του ειδικού όγκου σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας ή/και πίεσης)
- Αξιόπιστα πειραματικά δεδομένα δεν υπάρχουν για όλες τις καθαρές ενώσεις ή μίγματα και άρα οι ιδιότητές τους πρέπει να υπολογιστούν (εμπειρικά ή θεωρητικά)
- Αλλαγές φάσεων σε διεργασίες (εξάτμιση, συμπύκνωση, τάση ατμών, κορεσμός, υγρασία)
- Ισοζύγια μάζας για αέρια, ατμούς, κτλ.

# Πηγές πληροφοριών για τις φυσικές ιδιότητες



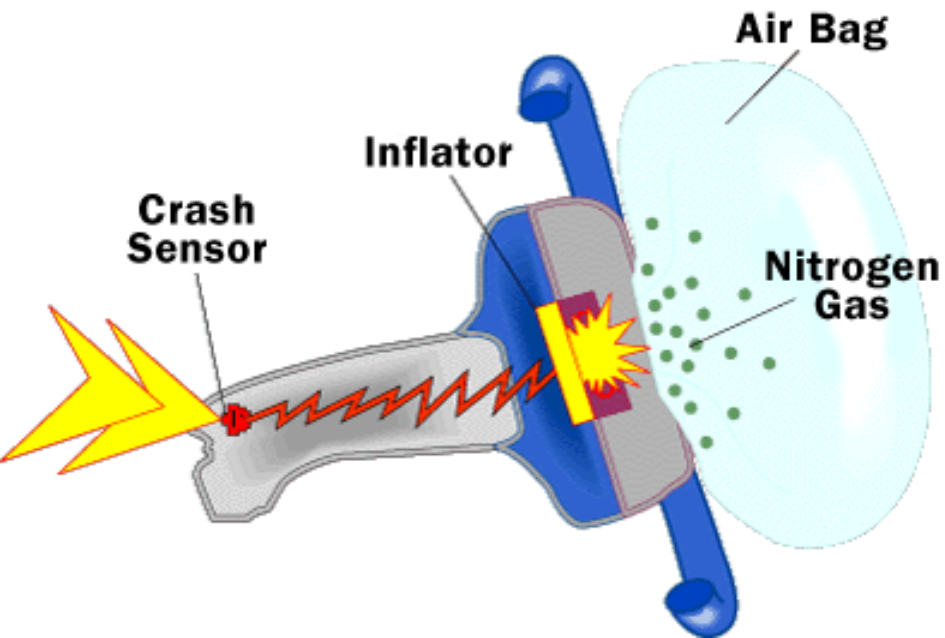
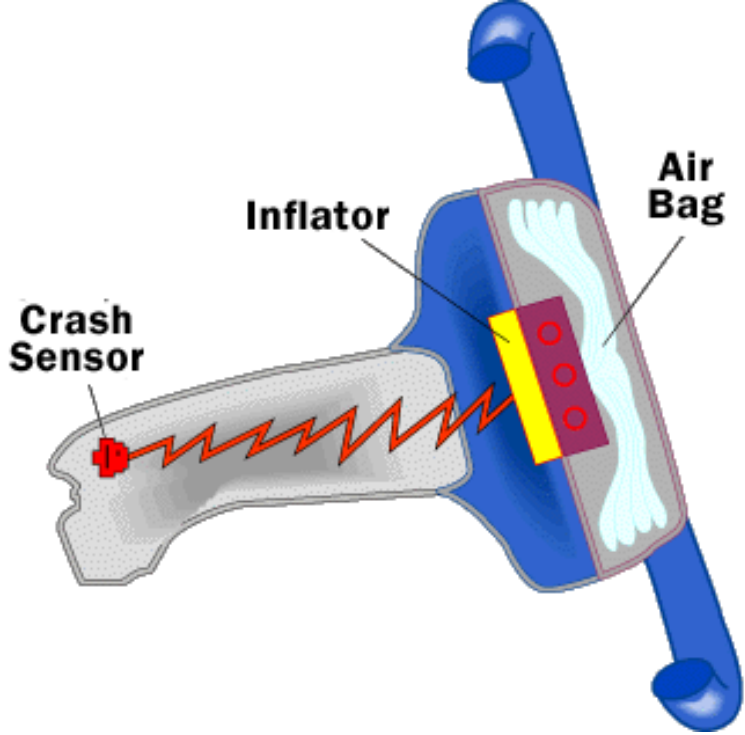
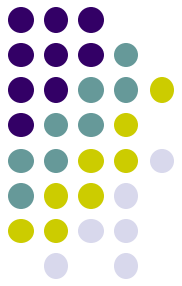
*Κάθε τι που μπορεί να μετρηθεί δεν σημαίνει ότι αξίζει, και κάθε τι που αξίζει ίσως να μην μπορεί να μετρηθεί.*

Albert Einstein

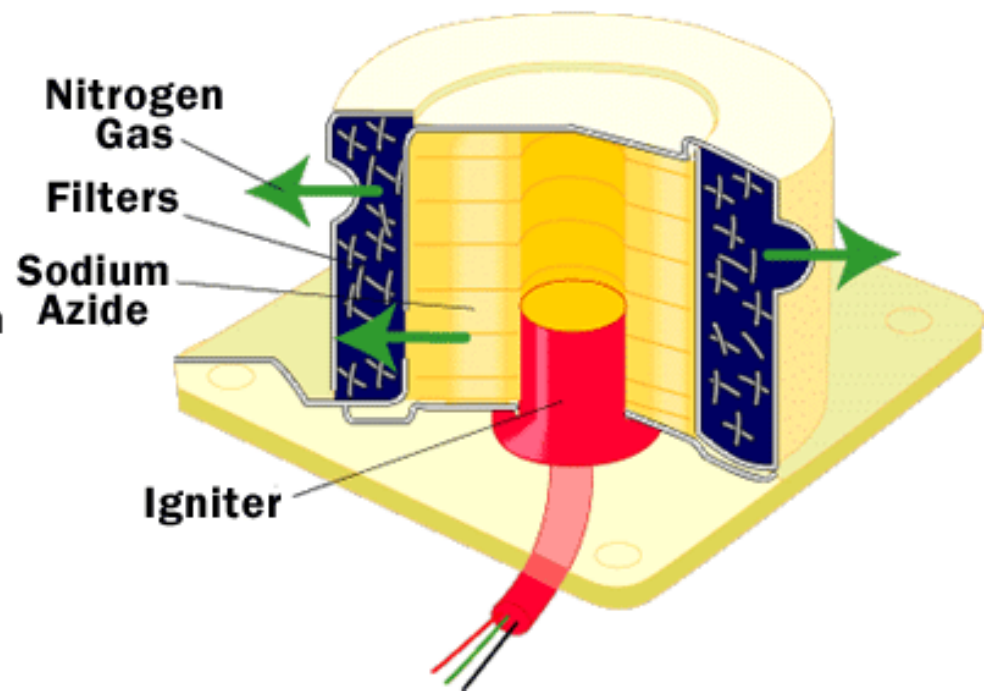


- Πειραματικά δεδομένα
- Πίνακες
- Γραφικές παραστάσεις
- Εξισώσεις

# Χημεία αερόσακκου



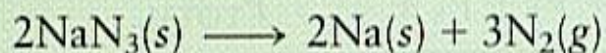
**Air Bag Inflation Device**





# THE CHEMISTRY OF AIR BAGS

Most experts agree that air bags represent a very important advance in automobile safety. These bags, which are stored in the auto's steering wheel or dash, are designed to inflate rapidly (within about 40 ms) in the event of a crash, cushioning the front seat occupants against impact. The bags then deflate immediately to allow vision and movement after the crash. Air bags are activated when a severe deceleration (an impact) causes a steel ball to compress a spring and electrically ignite a detonator cap, which, in turn, causes sodium azide,  $\text{NaN}_3$ , to decompose explosively, forming sodium and nitrogen gas:



This system works very well and requires only a relatively small amount of sodium azide (100 g yields 56 L of  $\text{N}_2(g)$  at  $25^\circ\text{C}$  and 1 atm).

When a vehicle containing air bags reaches the end of its useful life, the sodium azide present in the activators must be given proper disposal. Sodium azide, besides being explosive, has a toxicity roughly equal to that of sodium cyanide. It also forms hydrazoic acid ( $\text{HN}_3$ ), a toxic and explosive liquid, when treated with acid.

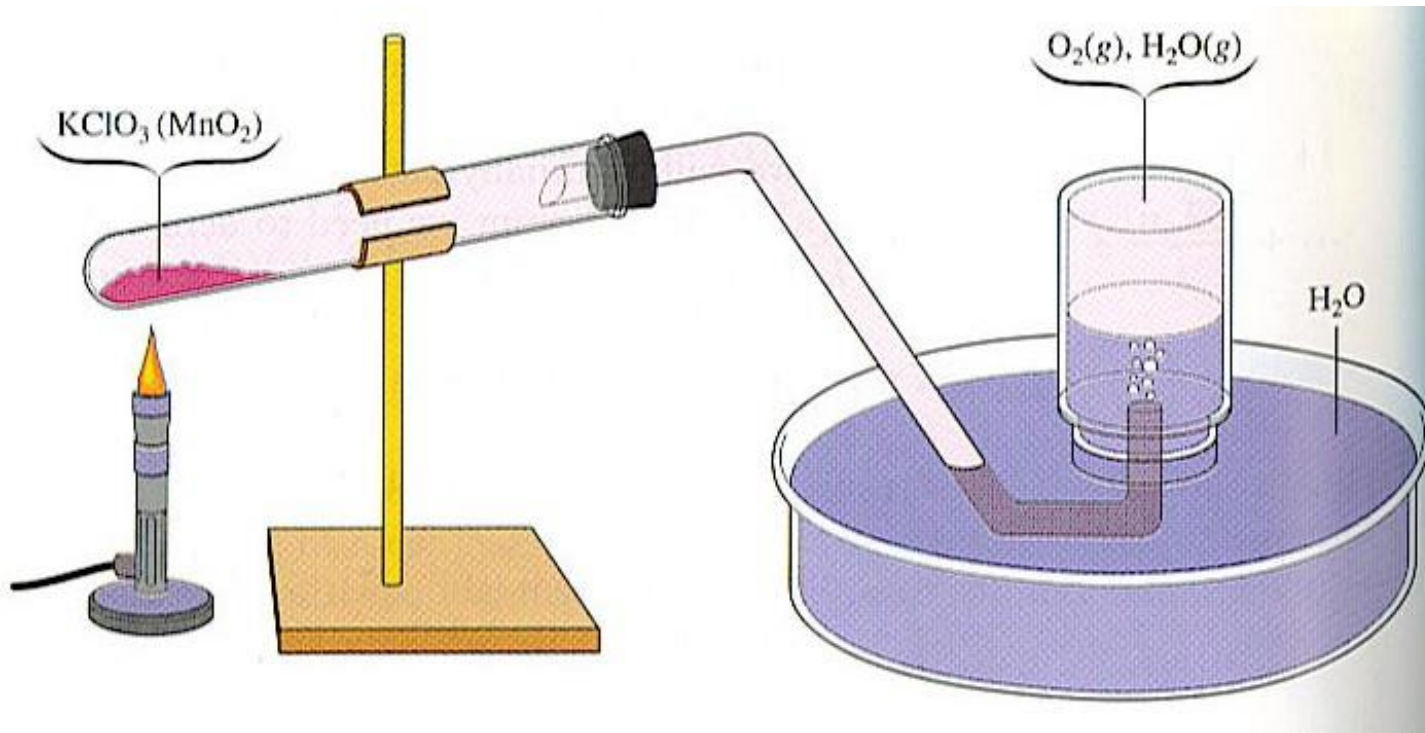
The air bag represents an application of chemistry that will undoubtedly save thousands of lives in the years ahead.



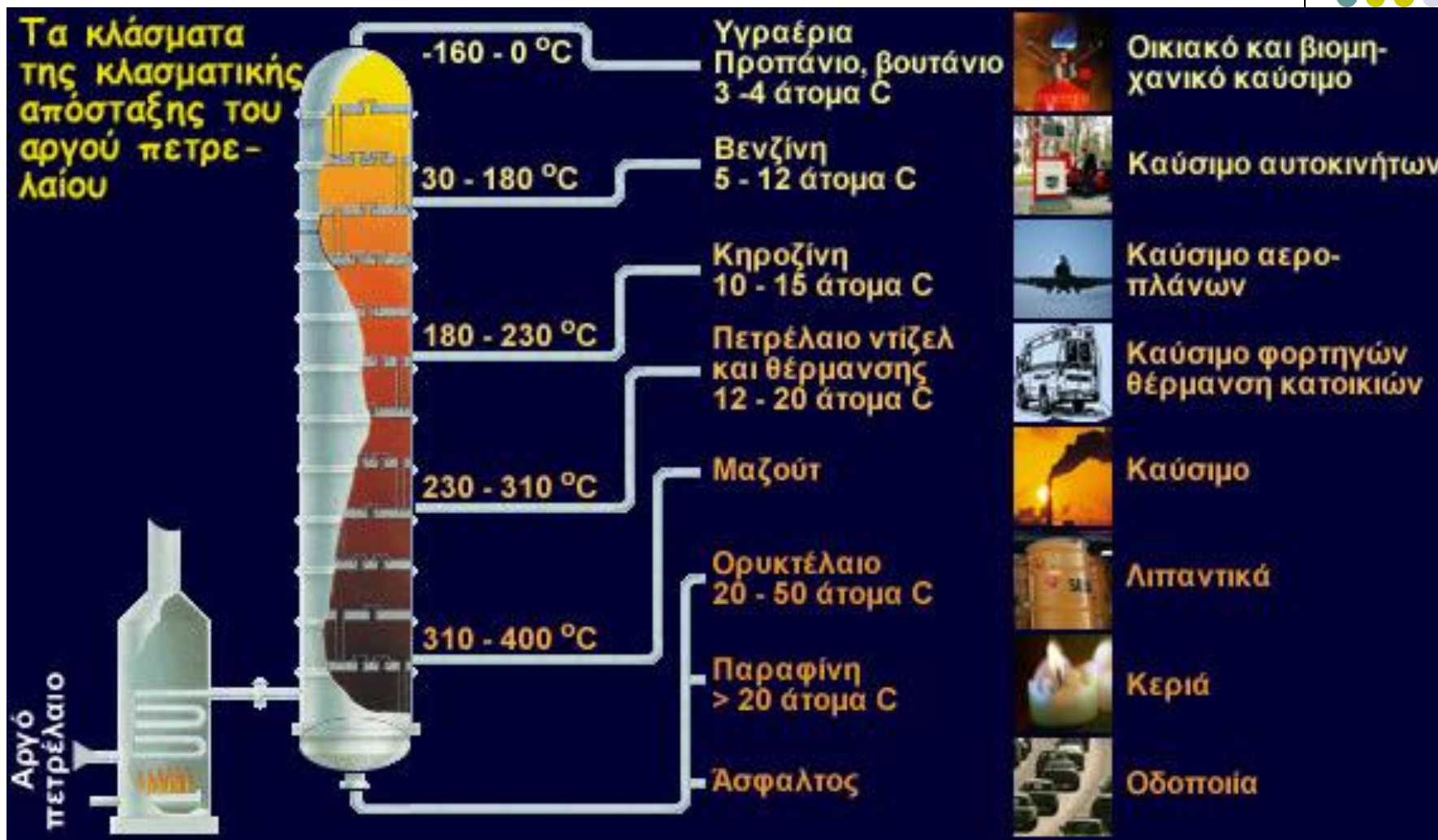
Inflated dual airbags.



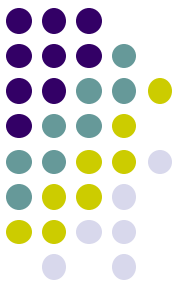
# Παραγωγή $O_2$ για συνθήκες έκτακτης ανάγκης σε αεροπορικά ταξίδια



# Διύληση Πετρελαίου







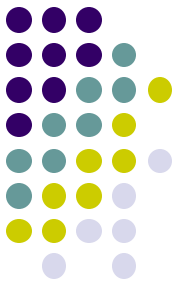
# ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

**13.1 Ο Νόμος των Ιδανικών Αερίων**

**13.2 Μίγματα Ιδανικών Αερίων και Μερικές Πιέσεις**

**13.3 Ισοζύγια Μάζας που Περιλαμβάνουν Ιδανικά Αέρια**

# 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

$$P V = n R T$$

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.

# Παραδείγματα



## 1. Υπολογισμός Όγκου ή Πίεσης σε Εργαστήρια

Σε χημικά εργαστήρια, ο νόμος χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο όγκος ή η πίεση αερίων που παράγονται ή καταναλώνονται σε χημικές αντιδράσεις.

*Παράδειγμα:*

Κατά την αποσύνθεση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ), παράγεται οξυγόνο. Αν ξέρουμε πόσα mol οξυγόνου παράγονται, μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση.

|

## 2. Ελαστικά Αυτοκινήτου

Η πίεση των ελαστικών αυξάνεται καθώς θερμαίνονται. Ο νόμος των ιδανικών αερίων εξηγεί γιατί:

*Παράδειγμα:*

Αν αφήσεις ένα αυτοκίνητο στον ήλιο, η θερμοκρασία του αέρα στα ελαστικά ανεβαίνει → αυξάνεται και η πίεση, εφόσον ο όγκος του ελαστικού είναι σχεδόν σταθερός.

## 3. Πίεση Δεξαμενών Αερίων

Σε βιομηχανικές φιάλες με οξυγόνο ή άζωτο, μπορούμε να προβλέψουμε πόσο θα αλλάξει η πίεση αν αλλάξει η θερμοκρασία (ή το αντίστροφο).

*Παράδειγμα:*

Αν μια φιάλη βρίσκεται σε αποθήκη στους  $20^\circ\text{C}$  και μεταφερθεί σε χώρο  $40^\circ\text{C}$ , μπορούμε να υπολογίσουμε τη νέα πίεση.

## 4. Εφαρμογή στην Ατμόσφαιρα (Μετεωρολογία)

Η ατμόσφαιρα προσεγγίζεται ως ιδανικό αέριο. Με τον νόμο των ιδανικών αερίων υπολογίζονται ύψη νέφωσης, πίεση, θερμοκρασία και άλλες παραμέτρους.

*Παράδειγμα:*

Η πίεση μειώνεται με το ύψος λόγω της μείωσης της πυκνότητας του αέρα — μπορούμε να το περιγράψουμε με  $PV = nRT$  και τις μεταβολές σε ύψος.



## 5. Διαστημόπλοια και Θαλάμοι Υψηλής Πίεσης

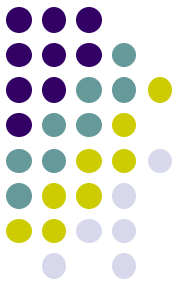
Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν τον νόμο για να σχεδιάσουν τις συνθήκες εντός θαλάμων, ώστε να διατηρείται η πίεση και η αναλογία αερίων σωστή για την επιβίωση του πληρώματος.

*Παράδειγμα:*

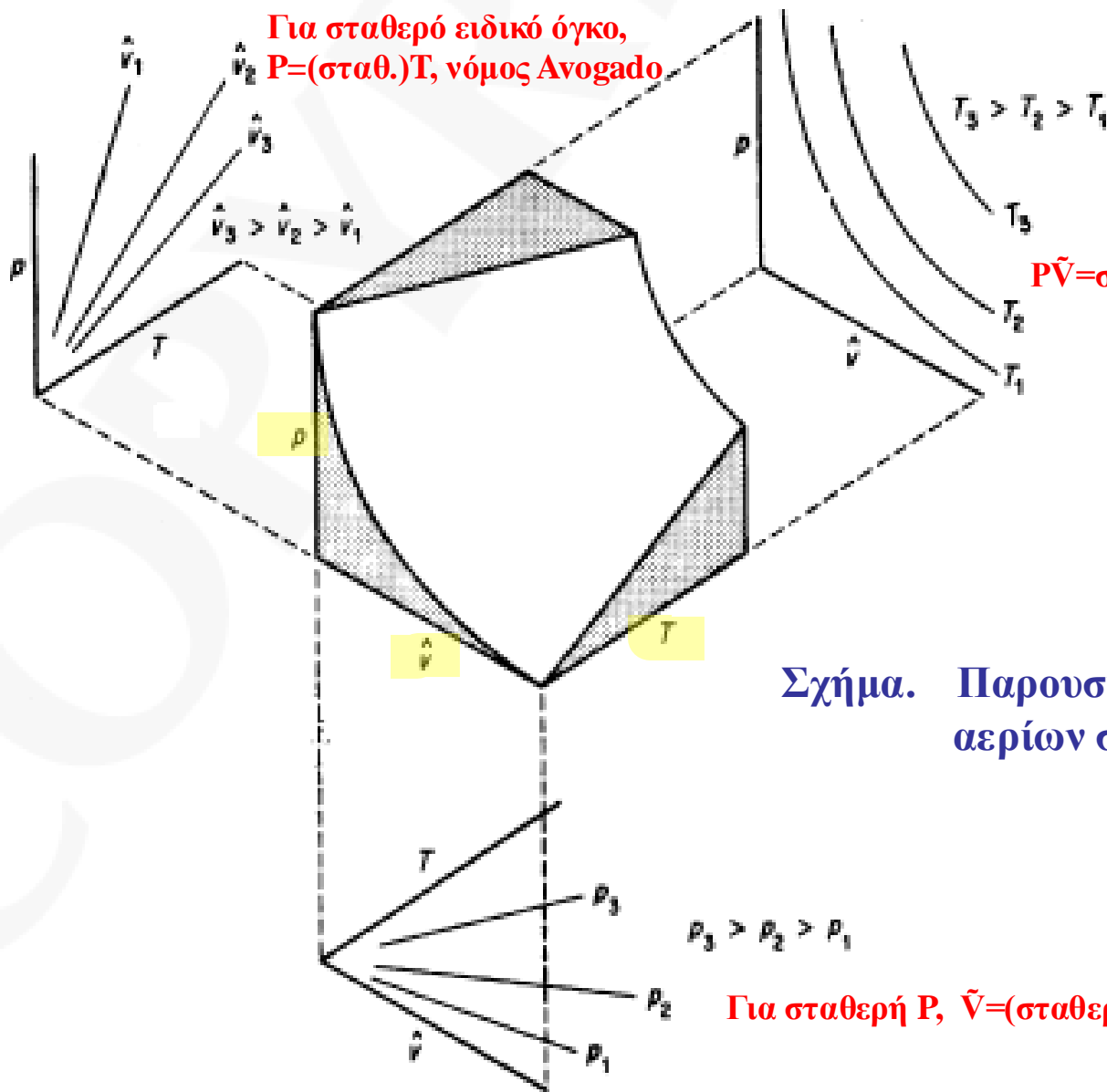
Για να διατηρηθεί σταθερή πίεση σε ένα διαστημόπλοιο, πρέπει να προσαρμόζεται η ποσότητα αέρα ανάλογα με τη θερμοκρασία.



# $PV=nRT$ ή $P\tilde{V}=RT$



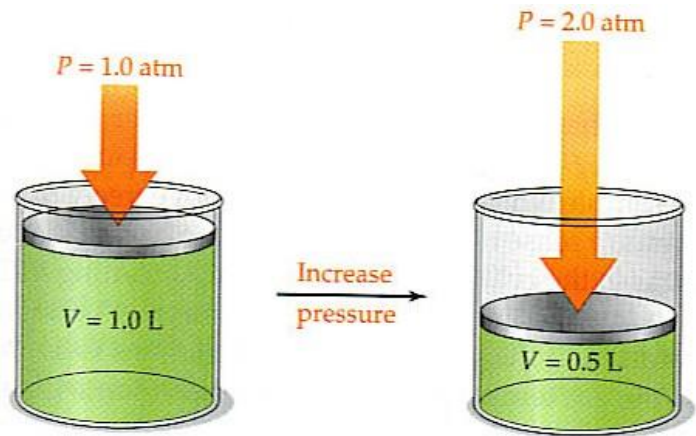
Για σταθερό ειδικό όγκο,  
 $P=(\text{σταθ.})T$ , νόμος Avogadro



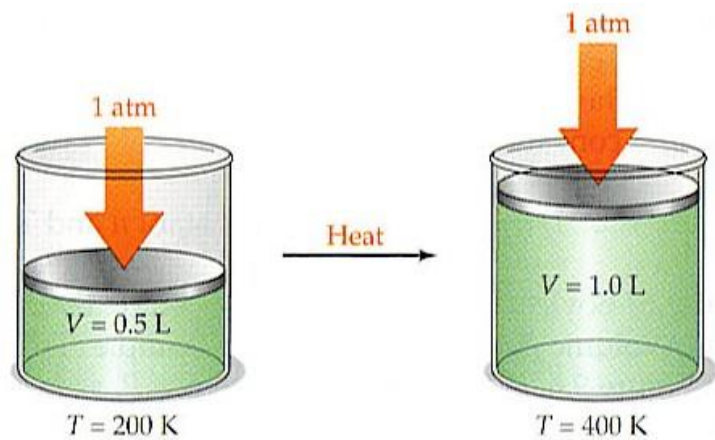
$P\tilde{V}=\text{σταθερό}$ , (δηλ. υπερβολή), νόμος Boyle

Σχήμα. Παρουσίαση του νόμου των ιδανικών αερίων σε 3 διαστάσεις σαν επιφάνεια.

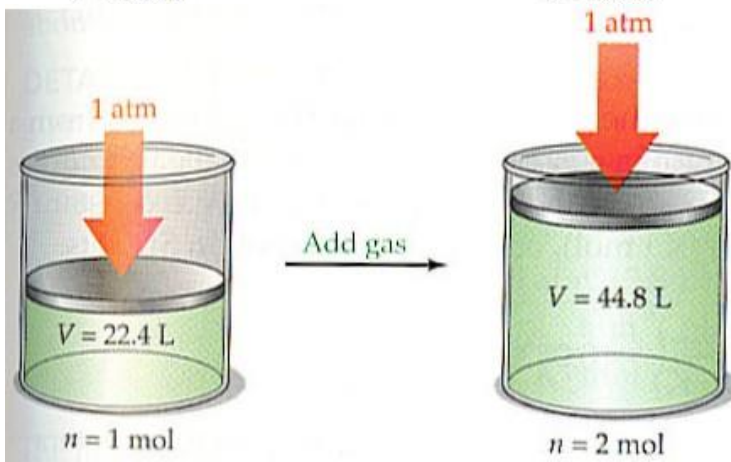
Για σταθερή  $P$ ,  $\tilde{V}=(\text{σταθερά})T$ , νόμος Charles



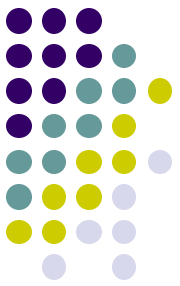
Σχήμα. Νόμος του Boyle ( $P \times V = \text{constant}$ )



Σχήμα. Νόμος του Charles ( $V = \text{constant} \times T$ )



Σχήμα. Νόμος του Avogadro  
( $V/n = \text{constant}$  σε σταθερές  $T$  και  $P$ )

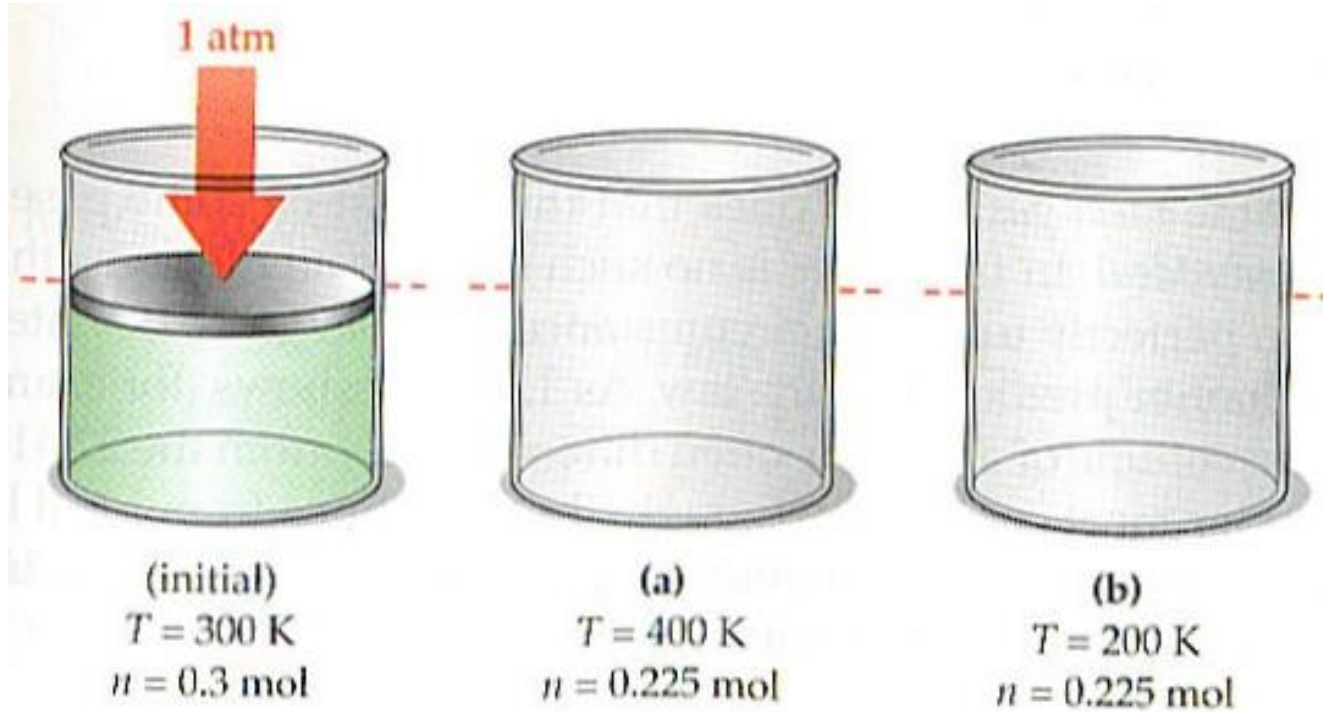
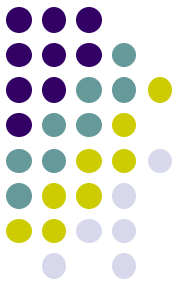


## Συνηθισμένες κανονικές συνθήκες για ιδανικό αέριο

Σύστημα	T	P	$\hat{V}$
SI	273.15 K	101.325 KPa	22.415 m <sup>3</sup> /kg mol
Διεθνείς επιστημονικές	0 °C	760 mm Hg	22.415 liters/kg mol
Βιομηχανία Φυσικού Αερίου	59.0 °F (15.0 °C)	14.696 psia (101.325 Kpa)	370.4 ft <sup>3</sup> /lb mol
Αμερικανικό πρακτικό	491.57 °R (32 °F)	1 atm	359.05 ft <sup>3</sup> /lb mol



# Άσκηση



Δείξτε το ύψος του μετακινούμενου πιστονιού στις περιπτώσεις α και β.

---

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.1 Χρήση Πρότυπων Συνθηκών για τον Υπολογισμό του Όγκου από την Μάζα

Υπολογίστε τον όγκο σε κυβικά μέτρα, που καταλαμβάνουν 40 kg CO<sub>2</sub> σε κανονικές συνθήκες, θεωρώντας ότι το CO<sub>2</sub> δρα σαν ιδανικό αέριο.

*Λύση:*

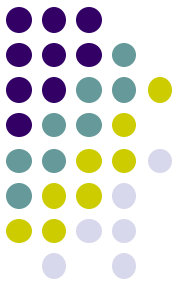
Βάση: 40 kg CO<sub>2</sub>

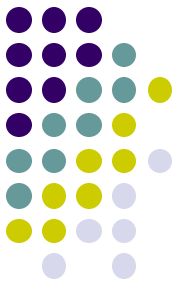
$$\frac{40 \text{ kg CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} \left| \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{1 \text{ kg mol CO}_2} \right| \frac{22.42 \text{ m}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ kg mol CO}_2} = 20.4 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 \text{ σε ΚΣ}$$

Παρατηρήστε πως στο πρόβλημα αυτό η πληροφορία 22.4 m<sup>3</sup> σε ΚΣ = 1 kg mol, εφαρμόζεται στην μετατροπή ενός γνωστού αριθμού moles σε ισοδύναμο αριθμό κυβικών μέτρων. Ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του όγκου σε κανονικές συνθήκες είναι η χρήση της εξίσωσης (13.1).

---

$$PV = nRT \rightarrow 1 \text{ atm} \times V = 40/44 \text{ kg-mole} \times 0,082 \times 273^\circ\text{K} \rightarrow V = 20,4 \text{ m}^3$$





---

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.2 Υπολογισμός του R Χρησιμοποιώντας τις Κανονικές Συνθήκες

Υπολογίστε την τιμή της παγκόσμιας σταθεράς των αερίων R για τους παρακάτω συνδυασμούς μονάδων: Για 1 g mol ιδανικού αερίου όταν η πίεση είναι σε atm, ο όγκος σε cm<sup>3</sup>, και η θερμοκρασία σε K.

*Λύση:*

Θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω τιμές (μαζί με τις μονάδες τους).  
Σε πρότυπες συνθήκες:

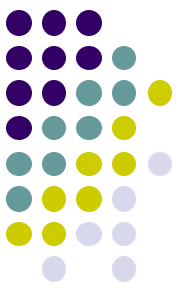
$$p = 1 \text{ atm}$$

$$\hat{V} = 22,415 \text{ cm}^3/\text{g mol}$$

$$T = 273.15 \text{ K}$$

$$R = \frac{p\hat{V}}{T} = \frac{1 \text{ atm}}{273.15 \text{ K}} \left| \frac{22,415 \text{ cm}^3}{1 \text{ g mol}} \right. = 82.06 \frac{(\text{cm}^3)(\text{atm})}{(\text{K})(\text{g mol})}$$





Σε πολλές διεργασίες, κατά την μετάβαση από την αρχική στην τελική κατάσταση, θα ανακαλύψετε ότι είναι βολικό να χρησιμοποιείτε αναλογίες των νόμων των ιδανικών αερίων στις αντίστοιχες καταστάσεις, και έτσι να παραλείψετε το  $R$  όπως φαίνεται παρακάτω (ο δείκτης 1 αντιστοιχεί στην αρχική κατάσταση, και ο δείκτης 2 στην τελική κατάσταση)

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{n_1 R T_1}{n_2 R T_2}$$

ή

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \quad (13.2)$$

Παρατηρήστε ότι η Εξίσωση (13.2) περιλαμβάνει αναλογίες της ίδιας μεταβλητής. Το αποτέλεσμα αυτό παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι οι πιέσεις μπορούν να εκφραστούν σε οποιοδήποτε σύστημα μονάδων επιλέξετε, όπως kPa, in. Hg, mm Hg, κ.τ.λ., αρκεί να χρησιμοποιούνται οι ίδιες μονάδες και για τις δύο καταστάσεις πίεσης (μην ξεχνάτε ότι η πίεση πρέπει να είναι η απόλυτη πίεση και στις δύο περιπτώσεις). Παρόμοια, ο λόγος των απόλυτων θερμοκρασιών και ο λόγος των όγκων δίνουν αποτελέσματα είναι αδιάστατα. Παρατηρήστε ότι η σταθερά των ιδανικών αερίων  $R$  εξαλείφεται από τους λόγους.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.3 Εφαρμογή του Νόμου των Ιδανικών Αερίων στον Υπολογισμό του Όγκου

Υπολογίστε τον όγκο που καταλαμβάνουν 88 lb CO<sub>2</sub> στους 15 °C και σε πίεση 32.2 ft νερού.

*Λύση:*

$$V_2 = V_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right) \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

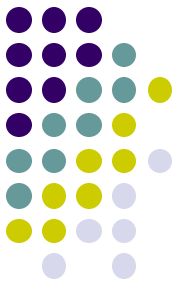
Υποθέστε ότι η πίεση που δίνεται είναι απόλυτη πίεση.

Σε	Κ.Σ. (κατάσταση 1)	Κατάσταση 2
	$p = 33.91 \text{ ft H}_2\text{O}$	$p = 32.2 \text{ ft H}_2\text{O}$
	$T = 273 \text{ K}$	$T = 273 + 15 = 288 \text{ K}$

Βάση: 88 lb CO<sub>2</sub>

$$\underbrace{\frac{88 \text{ lb CO}_2}{\frac{44 \text{ lb CO}_2}{1 \text{ lb mol CO}_2}}_{\text{Υπολογισμός } V_1} \left| \frac{359 \text{ ft}^3}{1 \text{ lb mol}} \right| \frac{288}{273} \left| \frac{33.91}{32.2} \right| = 798 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2 \text{ σε } 32.2 \text{ ft H}_2\text{O και } 15^\circ\text{C}$$





Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (13.1). Αρχικά, υπολογίστε την τιμή του R στις ίδιες μονάδες με αυτές των μεταβλητών  $p$ ,  $\hat{V}$  και  $T$  σε Κ.Σ.

$$R = \frac{p\hat{V}}{T}$$

Σε Κ. Σ.,

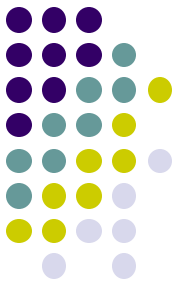
$$p = 33.91 \text{ ft H}_2\text{O} \quad \hat{V} = 359 \text{ ft}^3/\text{lb mol} \quad T = 273 \text{ K}$$
$$R = \frac{33.91}{273} \left| \frac{359}{1} \right| = 44.59 \frac{(\text{ft H}_2\text{O})(\text{ft}^3)}{(\text{lb mol})(\text{K})}$$

Βάλτε τώρα τις τιμές που δίνονται και κάντε τους κατάλληλους υπολογισμούς

Βάση: 88 lb CO<sub>2</sub>

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{88 \text{ lb CO}_2}{44 \text{ lb CO}_2} \left| \frac{44.59 (\text{ft H}_2\text{O})(\text{ft}^3)}{(\text{lb mol})(\text{K})} \right| \left| \frac{288\text{K}}{32.2 \text{ ft H}_2\text{O}} \right|$$
$$= 798 \text{ ft}^3 \text{ CO}_2 \text{ σε } 32.2 \text{ ft H}_2\text{O} \text{ και } 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

# Μετατροπή συνθηκών



$\text{κωδινός } O_2$

$28 \text{ m}^3$   
 $20^\circ \text{C}$   
 $14 \text{ atm}$

$V = ?$   
 $32^\circ \text{C}$   
 $10 \text{ cm H}_2\text{O}$   
 (φαινόμενική)

$P_{\text{atm}} = 760 \text{ mm Hg}$

① (Αρχική)

$P_1: 11400 \text{ mm Hg}$

$V_1: 28 \text{ m}^3$

$T_1: 293^\circ \text{K}$

② (Τελική)

$P_2: 767.3 \text{ mm Hg}$

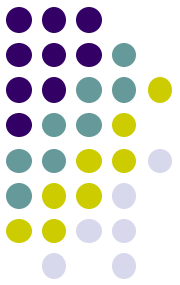
$V_2: ?$

$T_2: 305^\circ \text{K}$

$\left( \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \underline{\underline{V_2 = 433 \text{ m}^3}} \right)$

$P_1 = (14 \text{ atm} + 1 \text{ atm}) \times 760 = 11400 \text{ mm Hg}$

$P_2 = 760 \text{ mm Hg} + \frac{10 \text{ cm H}_2\text{O}}{1033 \text{ cm H}_2\text{O} = 1 \text{ atm}} = 760 + 7.3 = 767.3 \text{ mm Hg}$



---

---

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.4 Υπολογισμός Πυκνότητας Αερίου

Ποια είναι η πυκνότητα του  $N_2$  στους  $27\text{ }^\circ\text{C}$  και σε  $100\text{ kPa}$  σε μονάδες SI;

*Λύση:*

Βάση:  $1\text{ m}^3 N_2$  στους  $27\text{ }^\circ\text{C}$  και σε  $100\text{ kPa}$

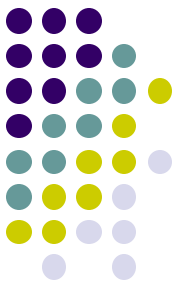
$$\frac{1\text{ m}^3}{300\text{ K}} \left| \frac{273\text{ K}}{101.3\text{ kPa}} \right| \frac{100\text{ kPa}}{22.4\text{ m}^3} \left| \frac{1\text{ kg mol}}{28\text{ kg}} \right| = 1.123\text{ kg}$$

πυκνότητα =  $1.123\text{ kg /m}^3 N_2$  στους  $27\text{ }^\circ\text{C}$  ( $300\text{ K}$ ) και σε  $100\text{ kPa}$

---



# Ειδικό βάρος αερίου



Το ειδικό βάρος ενός αερίου ορίζεται συνήθως ως το κλάσμα της πυκνότητας του αερίου στην επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση προς την πυκνότητα του αέρα (ή οποιουδήποτε καθορισμένου αερίου αναφοράς) σε ορισμένη θερμοκρασία και πίεση. Η χρήση του ειδικού βάρους μπορεί να προκαλέσει σύγχυση εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο οι τιμές των ειδικών βαρών δίνονται στην βιβλιογραφία. Γι' αυτό θα πρέπει να είστε ιδιαίτερα προσεχτικοί κατά την χρήση των τιμών της βιβλιογραφίας ώστε να είναι βέβαιο ότι οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης είναι γνωστές, τόσο για το αέριο που σας ενδιαφέρει όσο και για το αέριο αναφοράς. Έτσι, η ερώτηση “Ποιο είναι το ειδικό βάρος του μεθανίου” δεν είναι κατάλληλα διατυπωμένη. Η ερώτηση αυτή μπορεί να έχει την ίδια απάντηση με την ερώτηση “Πόσα σταφύλια υπάρχουν σε ένα τσαμπί;” Δυστυχώς, υπάρχει περίπτωση να συναντήσετε αυτήν την ερώτηση, οπότε η καλύτερη δυνατή απάντηση είναι

$$\text{ειδικό βάρος} = \frac{\text{πυκνότητα του μεθανίου σε Κ.Σ.}}{\text{πυκνότητα του αέρα σε Κ.Σ.}}$$

στην οποία η θερμοκρασία και η πίεση του μεθανίου και του αέρα (ως προς τον οποίο αναφερόμαστε) είναι καθορισμένα.

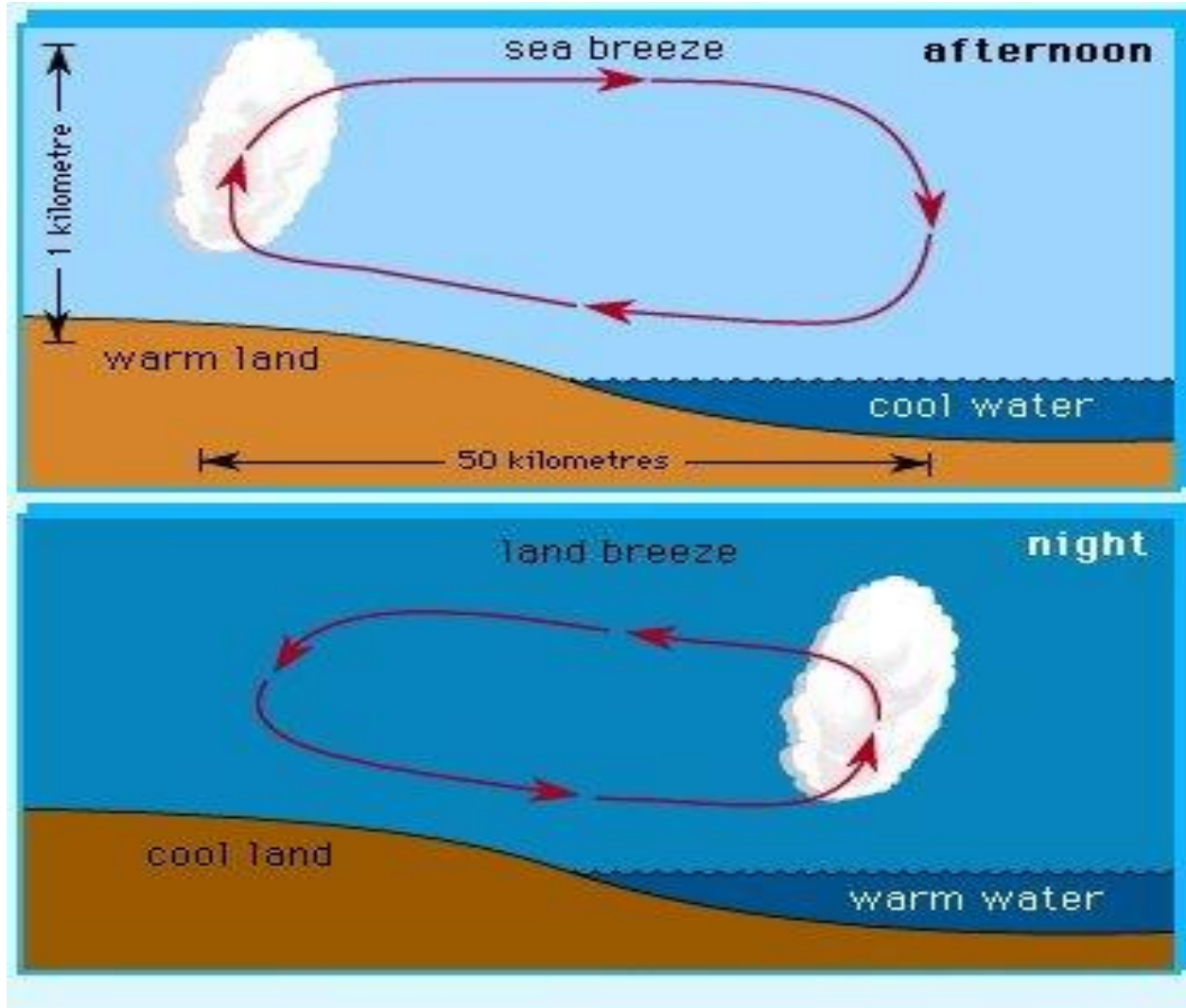
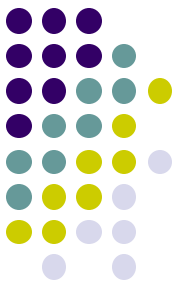
# Προβλήματα για συζήτηση



Οι θαλάσσιες αύρες αποτελούν ανακούφιση από την ζέστη του καλοκαιριού για τους κατοίκους των παραθαλάσσιων περιοχών. Ανεξάρτητα από την περιοχή π.χ. ακτές της Καλιφόρνια, Αυστραλία, όπου οι θαλάσσιες αύρες μπορούν να είναι πολύ έντονες, ακόμη και στις παραλίες των Μεγάλων Λιμνών, το καλοκαίρι, ο τρόπος εκδήλωσής τους είναι ο ίδιος. Η θαλάσσια αύρα φυσά από την θάλασσα προς την στεριά, ξεκινά 3 ή 4 ώρες πριν την ανατολή του ήλιου και φτάνει στην μέγιστη έντασή του στα μέσα του απογεύματος. Μπορεί να εισχωρεί σε βάθος 60 ή 70 km προς στο εσωτερικό της ξηράς. Η θαλάσσια αύρα εξαφανίζεται σταδιακά το βράδυ και 3 ή 4 ώρες μετά το ηλιοβασίλεμα μπορεί να αντικατασταθεί από αύρες της στεριάς, που φυσούν από τη στεριά προς τη θάλασσα. Οι αύρες αυτές, πολύ πιο ασθενείς από τις θαλάσσιες, αποκτούν την μέγιστη έντασή τους λίγο πριν την ανατολή του ήλιου.

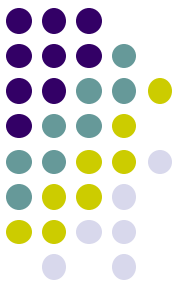
Ποια είναι η αιτία που προκαλεί αυτές τις αύρες;

# Επιδράσεις της τοπικής κυκλοφορίας του αέρα



Σχήμα. Σχηματική ανάπτυξη μιας απόγειας – θαλάσσιας αύρας.

# Μίγματα ιδανικών αερίων και μερική πίεση



Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν μία **πλασματική** αλλά χρήσιμη ποσότητα που ονομάζεται **μερική πίεση** σε πολλούς από τους υπολογισμούς που περιλαμβάνουν αέρια. Η μερική πίεση Dalton,  $p_i$  δηλαδή **η πίεση που θα εξασκούσε ένα συστατικό αέριου μίγματος αν καταλάμβανε μόνο του τον ίδιο όγκο που καταλαμβάνεται από το αέριο και στην ίδια θερμοκρασία με το μίγμα, ορίζεται σαν**

$$p_i V_{\text{ολικός}} = n_i RT_{\text{ολική}} \quad (13.4)$$

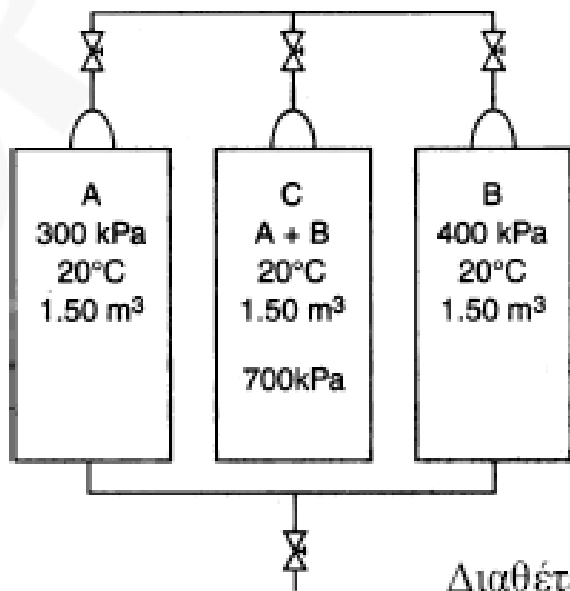
όπου  $p_i$  η μερική πίεση του συστατικού  $i$  του μίγματος. Αν διαιρέσετε την εξίσωση (13.4) με την Εξίσωση (13.1) θα πάρετε

$$\frac{p_i V_{\text{ολικός}}}{p_{\text{ολική}} V_{\text{ολικός}}} = \frac{n_i RT_{\text{ολική}}}{n_{\text{ολικά}} RT_{\text{ολική}}}$$
$$p_i = p_{\text{ολική}} \frac{n_i}{n_{\text{ολικά}}} = p_{\text{ολική}} y_i \quad (13.5)$$

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = p_{\text{ολική}}$$

**Νόμος Dalton**

# Μίγματα ιδανικών αερίων και μερική πίεση



## Παράδειγμα

Ατμοσφαιρικός αέρας (80/20 : N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)

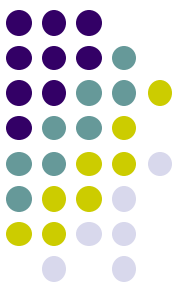
Διαθέτετε για το μίγμα αυτό ένα δοχείο όγκου 1.50 m<sup>3</sup> σε πίεση 700 kPa και σε θερμοκρασία 20 °C. Μπορείτε να πείτε ότι στο δοχείο C εξασκείται μερική πίεση 300 kPa από το αέριο A και μερική πίεση 400 kPa από το αέριο B.

Φυσικά δεν μπορείτε να τοποθετήσετε ένα μανόμετρο στο δοχείο και να ελέγξετε το συμπέρασμα αυτό αφού το μανόμετρο θα μετρήσει μόνο την συνολική πίεση. Οι μερικές αυτές πιέσεις είναι οι **υποθετικές πιέσεις** που θα εξασκούσαν τα μεμονωμένα αέρια αν κάθε ένα από αυτά καταλάμβαναν τον ίδιο όγκο στην ίδια θερμοκρασία. Στο δοχείο C οι μερικές πιέσεις των A και B σύμφωνα με την εξίσωση (13.5) είναι ίσες με

$$p_A = 700 \left( \frac{3}{7} \right) = 300 \text{ kPa}$$

$$p_B = 700 \left( \frac{4}{7} \right) = 400 \text{ kPa}$$





## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.6 Υπολογισμός των Μερικών Πίεσεων των Συστατικών ενός Αερίου, με Ανάλυση του Αερίου.

Σε μία ανάλογη διεργασία τα αέρια που εκπέμπονται περιέχουν 14.0% CO<sub>2</sub>, 6.0% O<sub>2</sub> και 80.0% N<sub>2</sub>, σε θερμοκρασία 400 °F και πίεση 765.0 mm Hg. Υπολογίστε τη μερική πίεση κάθε συστατικού.

*Λύση:*

Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση (13.5):  $p_i = p_{ολική} y_i$

Βάση: 1.000kg (ή lb) mol εκπεμπόμενων αερίων

Συστατικό	kg (ή lb) mol	p (mm Hg)
CO <sub>2</sub>	0.140	107.1
O <sub>2</sub>	0.060	45.9
N <sub>2</sub>	<u>0.800</u>	<u>612.0</u>
Σύνολο	1.000	765.0



The partial pressure of oxygen in the scuba tanks must be the same underwater as in air at atmospheric pressure.

**EXAMPLE** At an underwater depth of 250 ft, the pressure is 8.38 atm. What should the mole percent of oxygen in the diving gas be for the partial pressure of oxygen in the gas to be 0.21 atm, the same as it is in air at 1.0 atm?

**SOLUTION** The partial pressure of a gas in a mixture is equal to the mole fraction of the gas times the total pressure. Rearranging this equation lets us solve for the mole fraction of  $O_2$ :

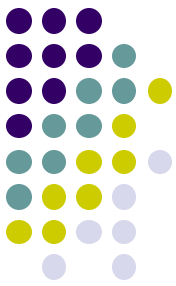
$$\text{Since } P_{O_2} = X_{O_2} \cdot P_{\text{total}} \text{ then } X_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{P_{\text{total}}}$$

$$X_{O_2} = \frac{0.21 \text{ atm}}{8.38 \text{ atm}} = 0.025$$

$$\text{Percent } O_2 = 0.025 \times 100\% = 2.5\% O_2$$

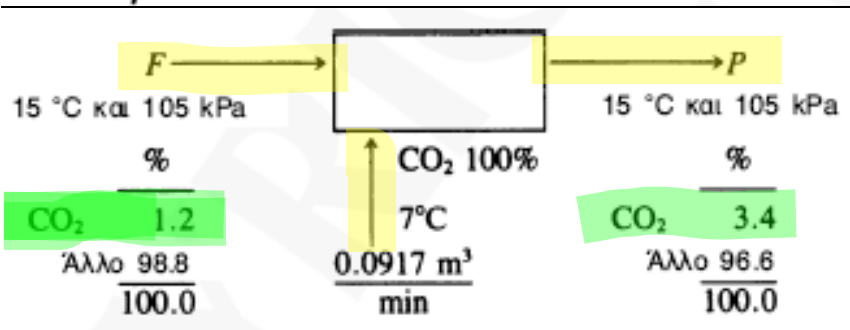
The diving gas should contain 2.5%  $O_2$  for the partial pressure of  $O_2$  to be the same at 8.38 atm as it is in air at 1.0 atm.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.8 Ισοζύγιο Μάζας Χωρίς Χημική Αντίδραση



Αέριο σε θερμοκρασία 15°C και πίεση 105 kPa, ρέει σε έναν ακανόνιστο αγωγό. Για τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής του αερίου, CO<sub>2</sub> από ένα δοχείο περνάει στο ρεύμα του αερίου. Η ανάλυση του αερίου δίνει 1.2 % CO<sub>2</sub> κατ'όγκο πριν την προσθήκη και 3.4 % CO<sub>2</sub> μετά την προσθήκη. Καθώς το CO<sub>2</sub> που έρεε απομακρυνόταν από το δοχείο, πέρασε από ένα ροόμετρο και βρέθηκε να ρέει με ρυθμό 0.0917 m<sup>3</sup> /min στους 7 °C και σε πίεση 131 kPa. Ποιος ήταν ο ρυθμός ροής του εισερχόμενου αερίου στον αγωγό σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό;

*Λύση:*



$$\frac{0.0917 \text{ m}^3}{1} \left| \frac{273 + 15}{273 + 7} \right| \frac{131}{105} = 0.1177 \text{ m}^3 \text{ στους } 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και σε πίεση } 105 \text{ kPa}$$

Ισοζύγ. “άλλου συστατικού” (σε m<sup>3</sup> στους 15°C και 105 kPa):  $F(0.988) = P(0.966)$  (α)

Ισοζύγιο CO<sub>2</sub> (σε m<sup>3</sup> στους 15 °C και 105 kPa):  $F(0.012) + 0.1177 = P(0.034)$  (β)

Συνολικό ισοζύγιο (σε m<sup>3</sup> στους 15 °C και 105 kPa):  $F + 0.1177 = P$  (γ)

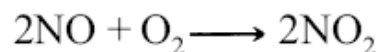
Παρατηρήστε ότι το “άλλο” είναι ένα συνδεδετικό συστατικό. Επιλέξτε τις Εξισώσεις (α) και (γ) για επίλυση. Η λύση των Εξισώσεων (α) και (γ) δίνει

$$F = 5.17 \text{ m}^3 / \text{min} \text{ στους } 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και } 105 \text{ kPa}$$



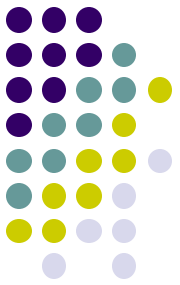
**\*\*13.42** Μία σημαντική πηγή εκπομπών αερίων ρύπων σε βενζινοκίνητες μηχανές αυτοκινήτων, που προκαλούν τον σχηματισμό αιθαλομίχλης, είναι τα οξειδία του αζώτου NO και NO<sub>2</sub>. Σχηματίζονται τόσο μετά από τέλεια όσο και μετά από ατελή καύση, όπως φαίνεται παρακάτω. Στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στις μηχανές εσωτερικής καύσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης, το οξυγόνο και το άζωτο συνδυάζονται για να σχηματίσουν οξείδιο του αζώτου (NO). Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία και όσο περισσότερο O<sub>2</sub> είναι διαθέσιμο, τόσο περισσότερο NO σχηματίζεται. Ο χρόνος που απαιτείται για την διάσπαση του NO σε O<sub>2</sub> και N<sub>2</sub> δεν είναι αρκετός, επειδή τα αέρια που καίγονται ψύχονται πολύ γρήγορα κατά την διάρκεια της διαστολής και των κύκλων εξάτμισης της μηχανής. Αν και τόσο το NO όσο και ο διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι σημαντικοί αέριοι ρυπαντές (μαζί αναφέρονται σαν NO<sub>x</sub>), το NO<sub>2</sub> σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από την οξείδωση του NO.

Υποθέστε ότι συλλέγετε ένα δείγμα μίγματος NO-NO<sub>2</sub> (αφού έχετε απομακρύνει τα άλλα προϊόντα καύσης, όπως το N<sub>2</sub>, το O<sub>2</sub> και το H<sub>2</sub>O, με διάφορες τεχνικές διαχωρισμού) σε μία κυψέλη 100 cm<sup>3</sup> στους 30 °C. Βέβαια, κάποια ποσότητα NO θα έχει οξειδωθεί προς NO<sub>2</sub>



κατά την συλλογή, την αποθήκευση, και την επεξεργασία των αερίων της καύσης, και γι' αυτό η μέτρηση μόνο του NO θα οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα. Αν η πρότυπη κυψέλη περιέχει 0.291 g NO<sub>2</sub> συν NO και η πίεση που μετράται στην κυψέλη είναι 170 kPa, ποιο ποσοστό του NO + NO<sub>2</sub> βρίσκεται με την μορφή NO;

# Λύση



Υπολογισμός R

$$PV = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT} = \frac{760 \text{ mmHg} \cdot 22,4 \text{ lit}}{1 \text{ g.mole} \cdot 273 \text{ }^\circ\text{K}} \Rightarrow R = 62,35 \dots$$

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} \Rightarrow n = \frac{1265 \cdot 0,1}{62,3 \cdot 303} \Rightarrow n = 0,0067 \text{ gmoles}$$

$\left. \begin{array}{l} \rightarrow x \text{ g NO} \\ \rightarrow (0,291 - x) \text{ g NO}_2 \end{array} \right\} \Rightarrow$

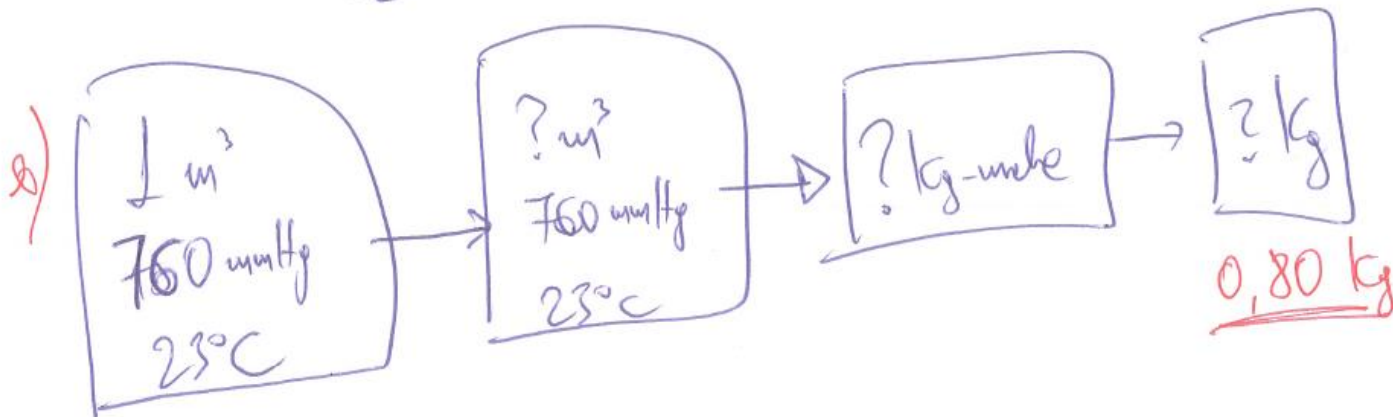
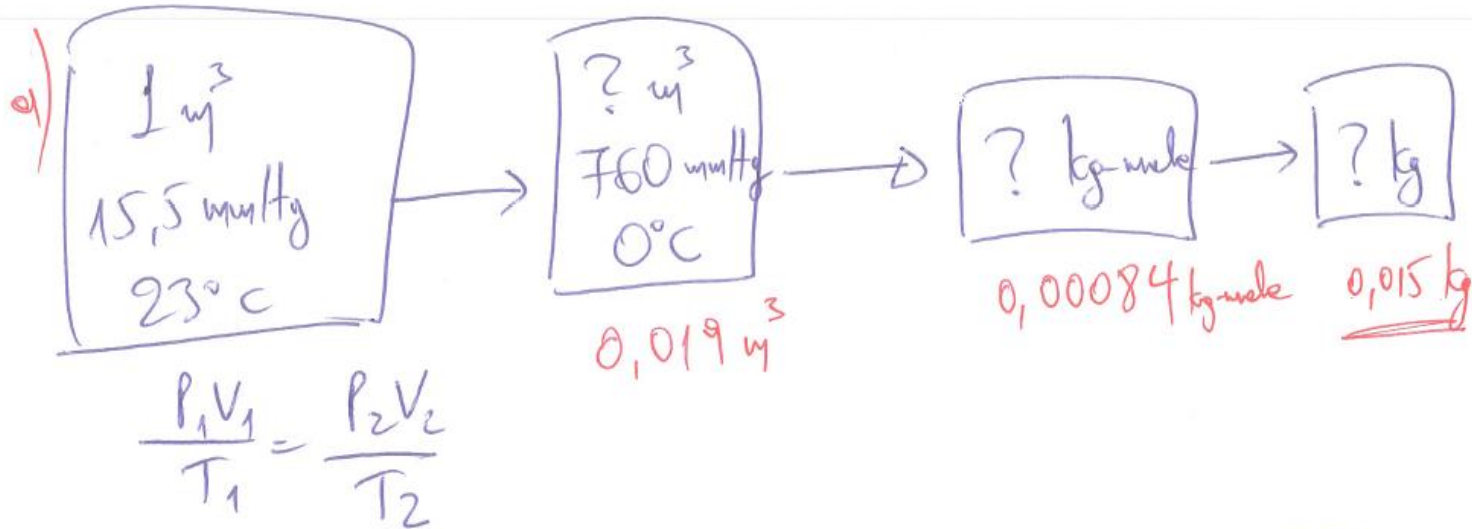
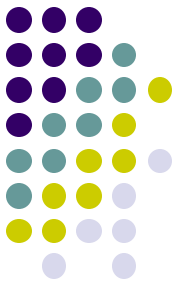
$$\frac{x}{M_{\text{BNO}}} + \frac{0,291 - x}{M_{\text{BNO}_2}} = 0,0067 \Rightarrow \frac{x}{30} + \frac{0,291 - x}{46} = 0,0067 \Rightarrow x = 0,033 \text{ gr}$$



• Υπολογίστε με βάση  $1 \text{ m}^3$  υδραερίου σε

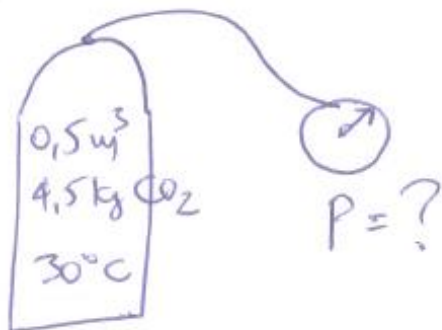
a)  $15 \text{ mmHg}$  ή  $23^\circ\text{C}$

b) στην επιφάνεια της θαλάσσης





Πυροσβεστήρας όγκου  $0,5 \text{ m}^3$ . Πόσα είναι  
και έινδειξη πίεσης!



$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ atm} \\ V &= 22,4 \text{ m}^3 \\ T &= 273 \\ n &= 1 \end{aligned}$$

$$PV = nRT \Rightarrow P \cdot 0,5 = \frac{4,5}{44} \cdot 0,082 \cdot 303 \Rightarrow$$

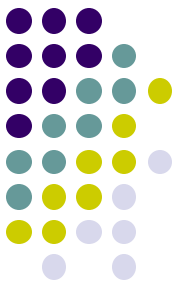
$$\Rightarrow P = 5,08 \text{ atm (από δυν πίεση)}$$

Το ταυτότερο θα δείχνει  $5,08 - 1 = \underline{\underline{4,08 \text{ atm}}}$

Αλλιώς: Πυροσβεστήρας είναι (δευτερεύον)  
γέφυρας όγκου η ταυτότερο πίεση  
είναι 4 atm.

Πόσα kg CO<sub>2</sub> πρέπει να προστεθούν!

# 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)

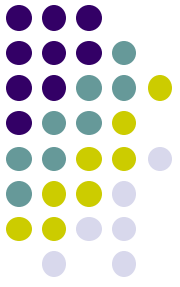
18. Συστήματα δύο Φάσεων, Αερίου-Υγρού (Μερικός Κορεσμός & Υγρασία)

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



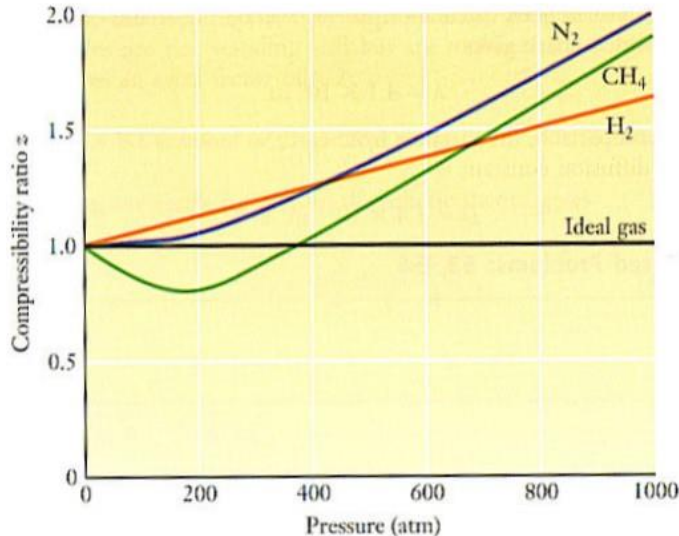
- Οι διαστάσεις των μορίων πολύ μικρές
- Η πυκνότητα των αερίων μικρή (όγκος μορίου  $\ll$  όγκο αερίου)
- Αδιάκοπη κίνηση μορίων
- Συγκρούσεις μορίων είναι απολύτως ελαστικές
- Όχι αλληλοεπίδραση μορίων, η ενέργειά τους μόνο κινητική

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

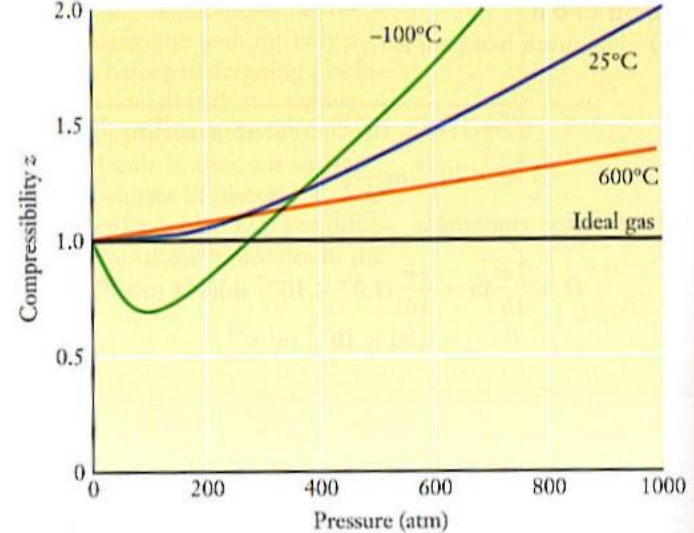
Αντίθετα, τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια σε μεγάλες πυκνότητες (δηλ. σε υψηλή πίεση ή/και χαμηλή θερμοκρασία) δεν τις ικανοποιούν.

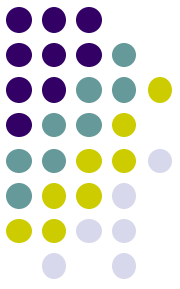
Η γραφική παράσταση της σχέσης  $z = PV/nRT$  με την πίεση δείχνει ξεκάθαρα την απόκλιση από τη συμπεριφορά ιδανικού αερίου:

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

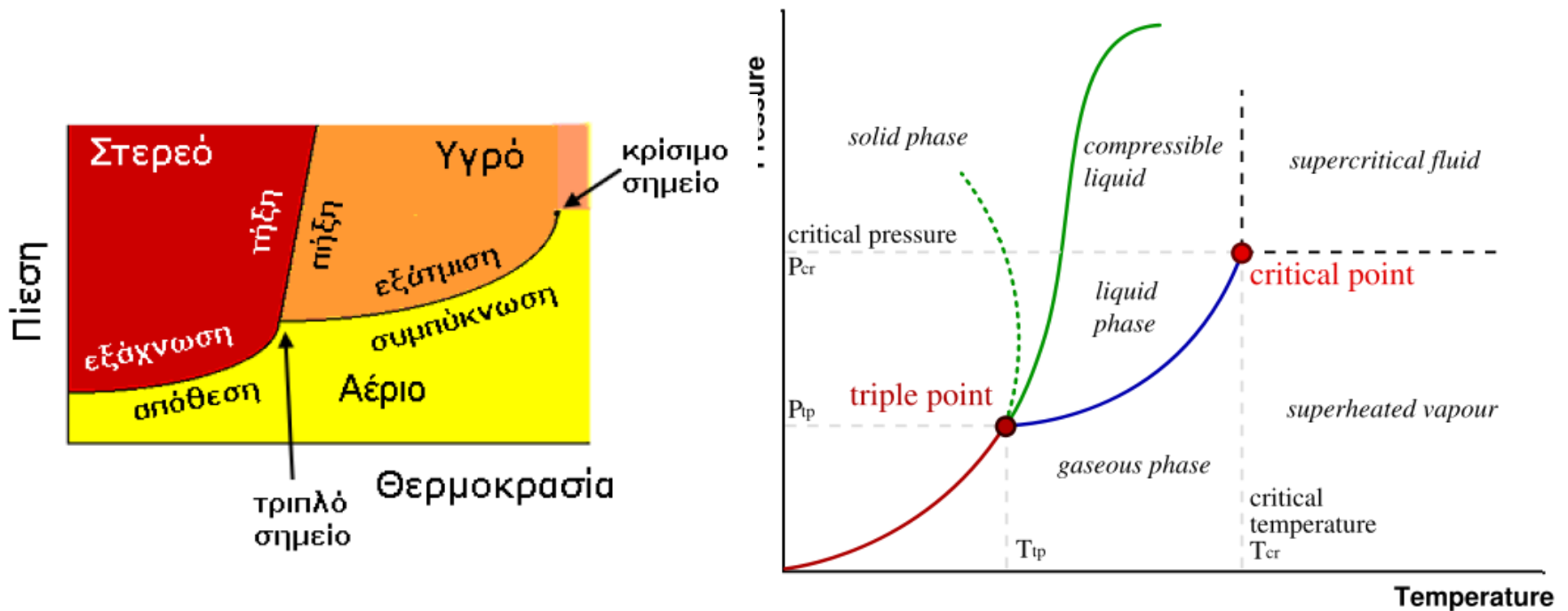


B) για το άζωτο σε διαφορετικές θερμοκρασίες (δεξιά)



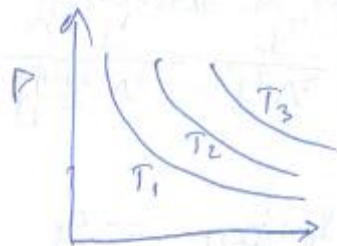


- The **critical temperature**,  $T_c$ , of a material is the temperature above which distinct liquid and gas phases do not exist.
- As the critical temperature is approached, the properties of the gas and liquid phases become the same resulting in only one phase: the supercritical fluid.
- Above the 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 ~ 374°C (647.096 K) και 217.7 atm (22059 kPa)



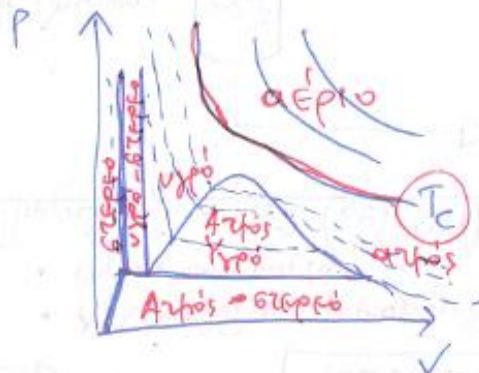


# Ιδανικό Αέριο



Ισοθερμη αυξησφιφορα σφιφεινσ  
 τστας ιδανικσ αεριων

# Πραγματικό Αέριο



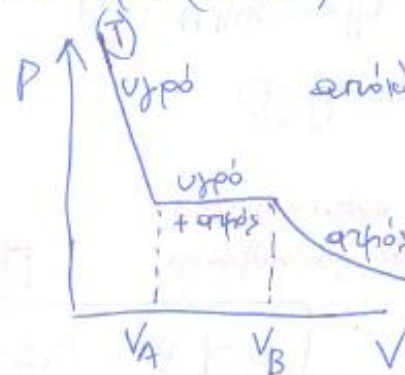
Για  $T > T_c$  ιδανικό αέριο ( $PV = nRT$ )

Για  $T < T_c$

## Μικροσκοπικό Πρόσωπο για το ιδανικό αέριο :

- Οι διαστάσεις των μορίων είναι μικρές (υπόθεσισ)
- Η πυκνότητα των αερίων είναι μικρή (όγκος μορίων  $\ll$  όγκου αερίου)
- Τα μόρια κινούνται αδιάρκοτα
- Τα μόρια συστρούονται αποκλίνωσ ελαστικά
- Τα μόρια δεν αλληλοσφιδρσν  $\Rightarrow$  η ενεργεια τους τσσο κινητικσ

αποκλίνωσ αερο των παραβολικσ εφσνων



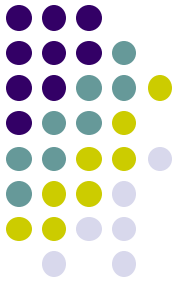
- Όσο μεινεται η θερμοκρασια τόσο το εφρος  $V_B - V_A$  αυξσνεται
- Αν ηλεση κ' θερμ. σταθερσ τότε μειωσνεται όγκο  $\Rightarrow$  μειωσνεται τστας
- Πραγματικσ τστας αφσρσνεται απο το ιδανικσ αέριο λόγω υφρονοιασ

$T_c$  = κριτικη θερμοκρασια

$T > T_c$  δεν υφρονοιαται το αέριο γιατί τα μόρια δεν αλληλοσφιδρσν

$T < T_c$  το αέριο υφρονοιαται  $\Rightarrow$  υφσρσνουν συνδιεις αλληλοσφιδρσσ

# Πραγματικά αέρια



## Ευτηνεριφορά Πραγματικών Αερίων

↳ Γραμμική Προσέγγιση για 1 mole

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

(Τίπος Van der Waals)  
Μαθηματική προσεγγιστική  
δύση που περιγράφει την  
ισοθερμή ευτηνεριφορά p-V  
πραγματικών αερίων

- Αν όγκος μορίων  $b_i$  τότε  $b = Nb_i$  ( $N$ : αρ. Avogadro)
- $\frac{a}{V^2}$  ελκυστικές ελκτικές δυνάμεις αλληλεπίδρασης // αντιστροφή ανάλογος με  $\frac{1}{V^2} \Rightarrow$  μειώνονται όσο αυξάνει ο όγκος (ελκυστική πίεση ή ενδοπίεση)

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

Η πραγματική συμπεριφορά ευτηνεριφορά αρχίζει όταν ο όρος  $\left( 1 + \frac{a}{PV^2} \right) \left( 1 - \frac{b}{V} \right) > 1 \Rightarrow 1 - \frac{b}{V} + \frac{a}{PV^2} - \frac{ab}{PV^3} > 1 \Rightarrow$

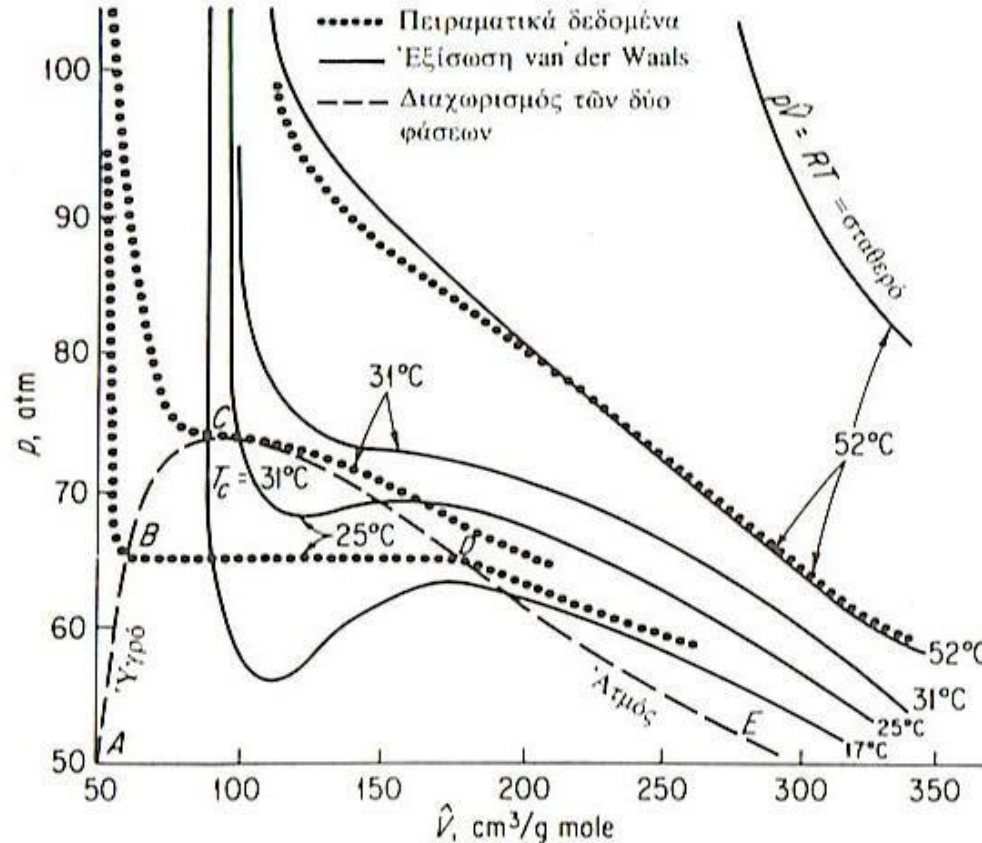
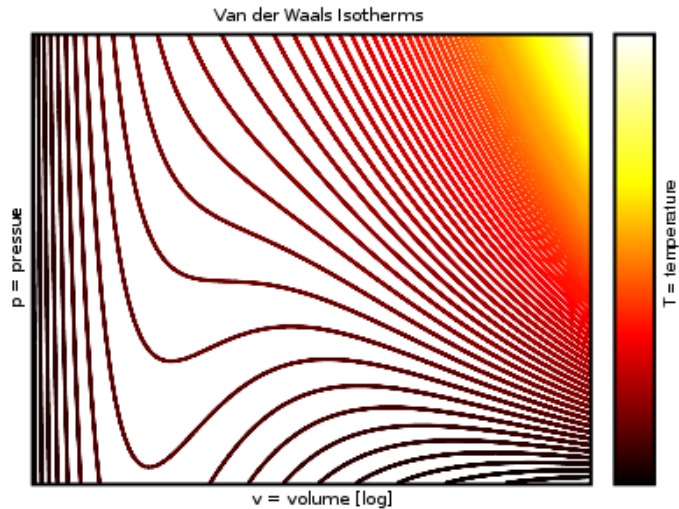
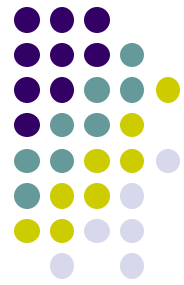
$$\Rightarrow \frac{a}{PV^2} > \frac{b}{V} \Rightarrow \frac{a}{RT} > b \Rightarrow \frac{RT}{a} < \frac{1}{b}$$

η όταν η θερμοκρασία  
είναι μικρότερη από  $\Rightarrow$

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

Για να υπολογιστεί πρέπει να γυρνάει σε θερμοκρασίες  
Ηθέρμης.

# Πραγματικά αέρια - Van der Waals

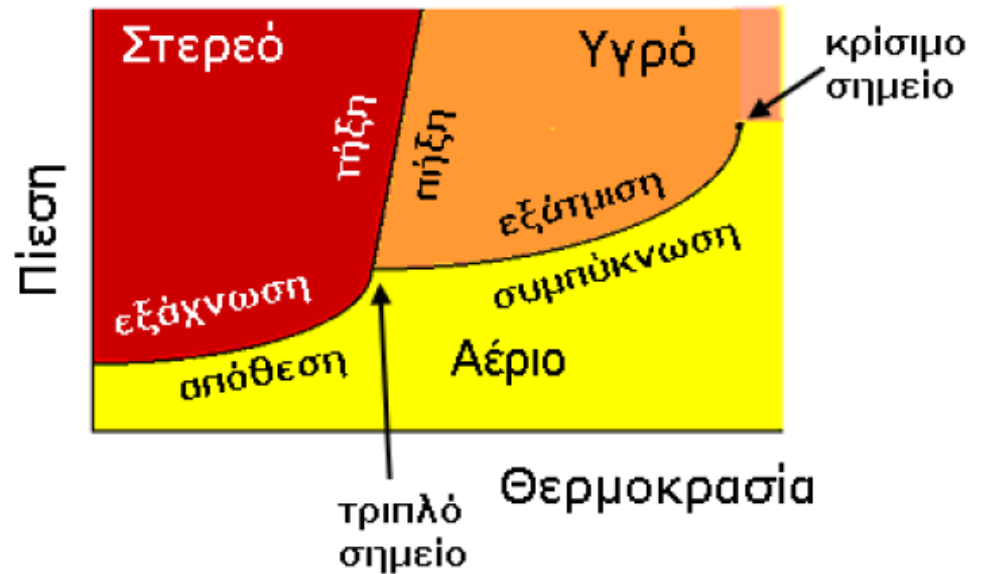
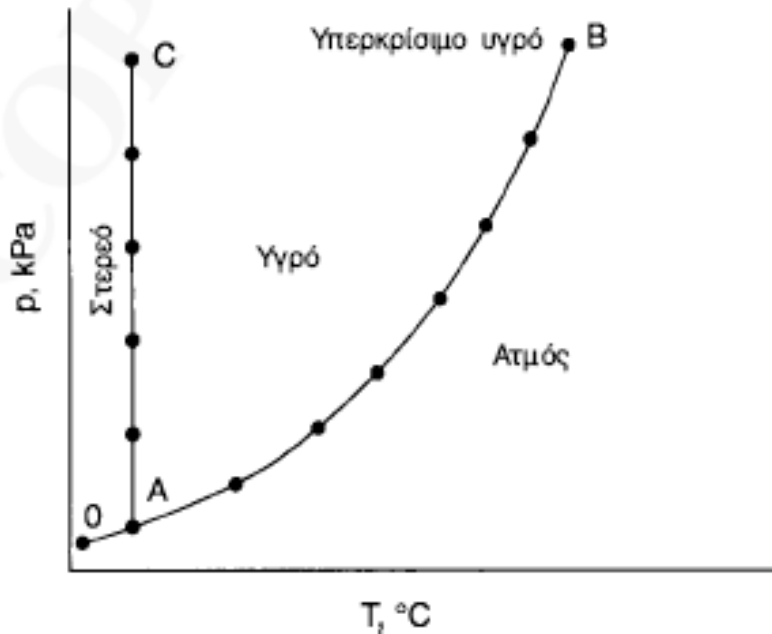
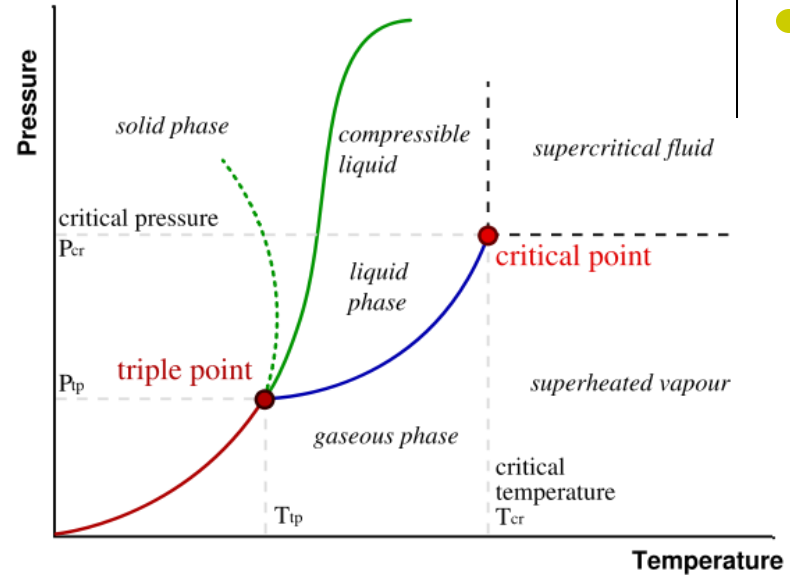


Σχήμα Ίδιότητες  $p - V - T$  του CO<sub>2</sub>

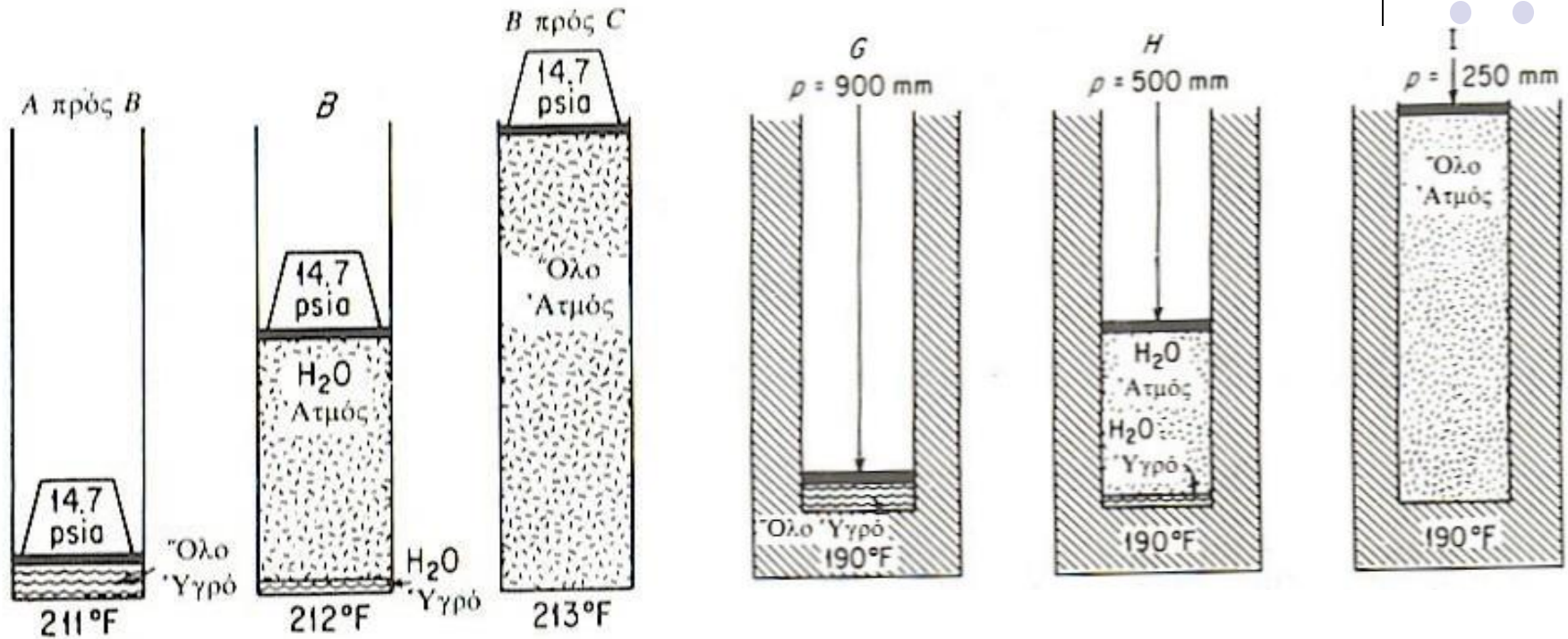
## Van der Waals Constants of Several Gases

Name	Formula	$a$ (atm L <sup>2</sup> mol <sup>-2</sup> )	$b$ (L mol <sup>-1</sup> )
Ammonia	NH <sub>3</sub>	4.170	0.03707
Argon	Ar	1.345	0.03219
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	3.592	0.04267
Hydrogen	H <sub>2</sub>	0.2444	0.02661
Hydrogen chloride	HCl	3.667	0.04081
Methane	CH <sub>4</sub>	2.253	0.04278
Nitrogen	N <sub>2</sub>	1.390	0.03913
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	5.284	0.04424
Oxygen	O <sub>2</sub>	1.360	0.03183
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	6.714	0.05636
Water	H <sub>2</sub> O	5.464	0.03049

# Διαγράμματα Φάσεων



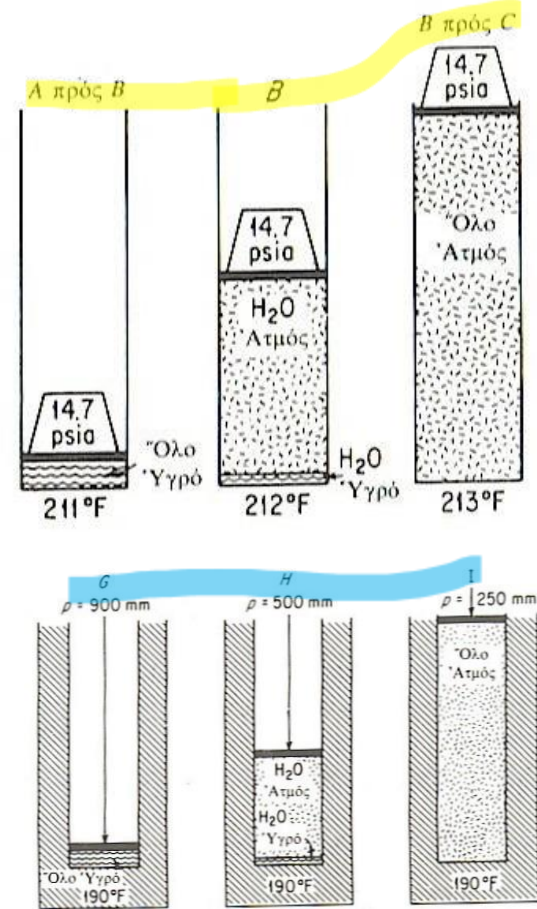
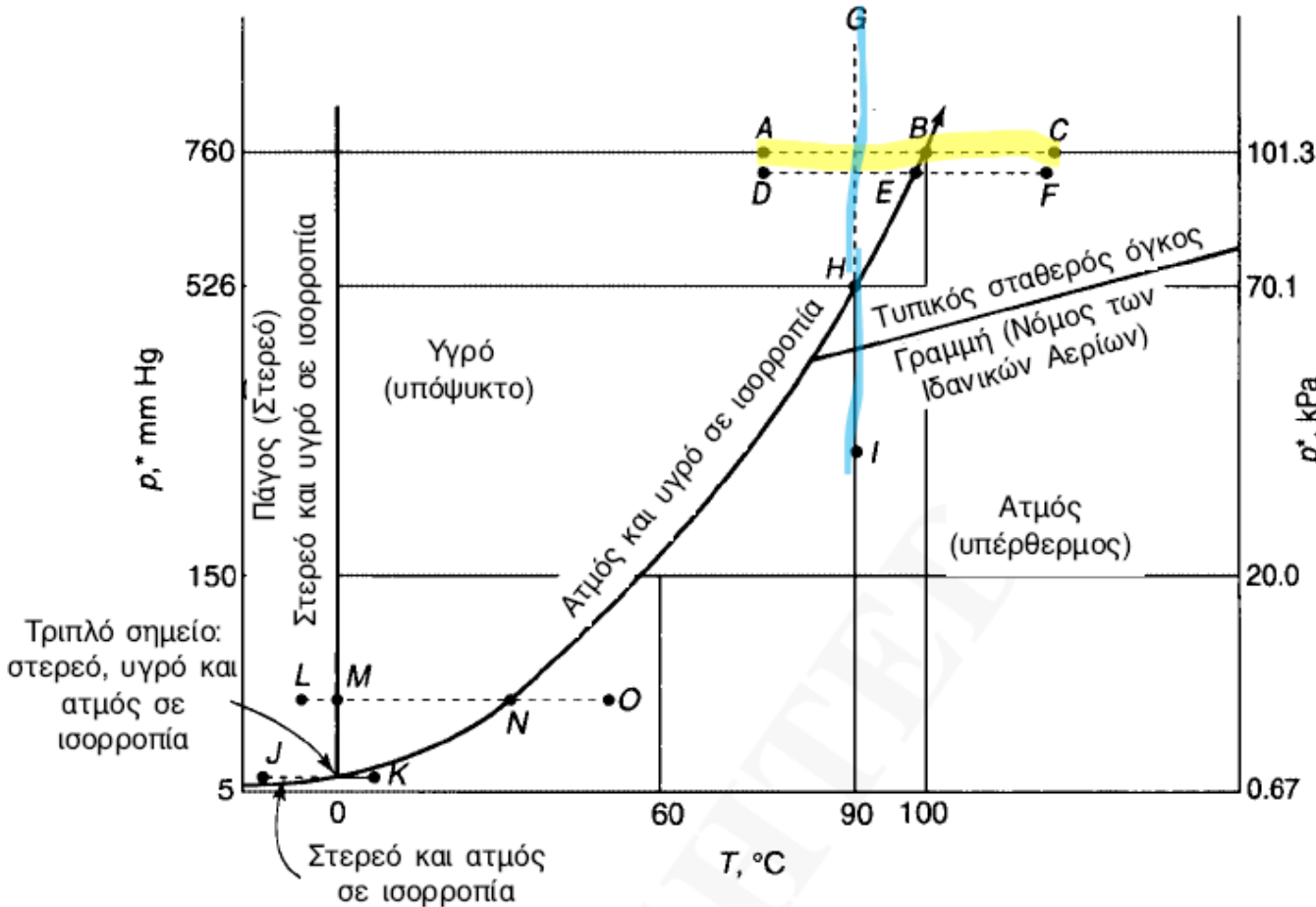




Μετατροπή του νερού από υγρό σε υδρατμό, υπό σταθερή πίεση (αριστερά), υπό σταθερή θερμοκρασία (δεξιά).



# 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)**

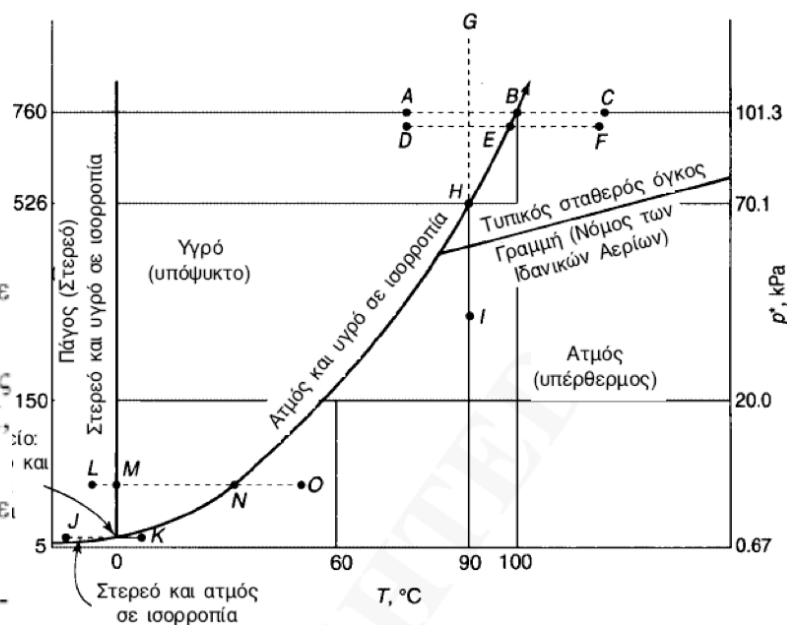
Η αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό (L σε M).

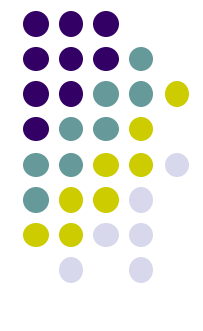
**Κανονικό σημείο βρασμού**

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

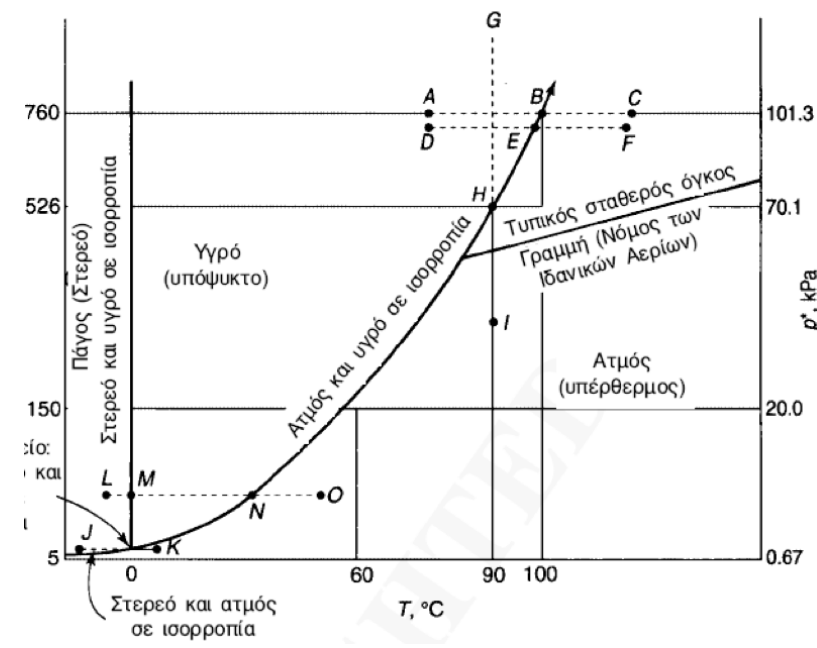
**Κανονικά σημείο τήξης**

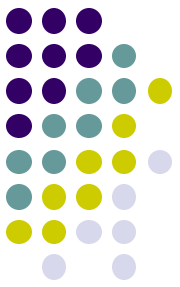
Η θερμοκρασία στην οποία το στερεό τήκεται σε πίεση 1 atm (101.3 kPa).





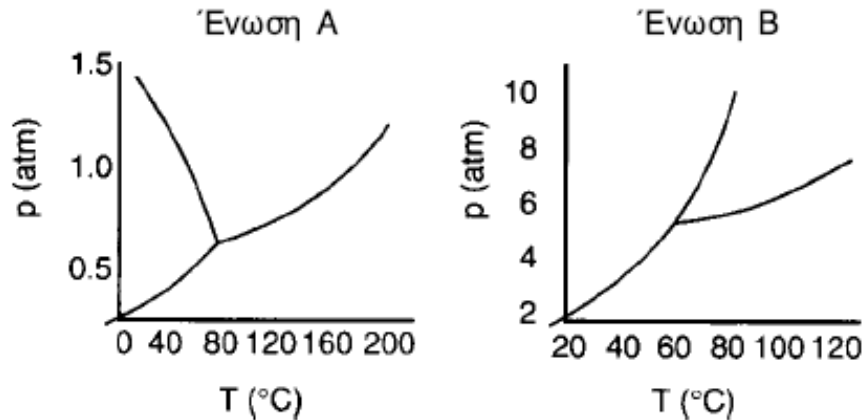
<b>Κορεσμένο υγρό/κορεσμένος ατμός</b>	Τιμές της καμπύλης ισορροπίας υγρού-στερεού (καμπύλη τάσης ατμού)
<b>Υπόψυκτο υγρό</b>	Υγρό μεταξύ της καμπύλης τήξης και της καμπύλης τάσης ατμών (π.χ. D)
<b>Εξάχνωση</b>	Η αλλαγή φάσης από στερεό σε ατμό (J σε K).
<b>Καμπύλη εξάχνωσης</b>	Η καμπύλη ισορροπίας στερεού-ατμού από το J (και χαμηλότερα) προς το τριπλό σημείο.
<b>Πίεση εξάχνωσης</b>	Η πίεση κατά μήκος της καμπύλης εξάχνωσης (συνάρτηση της θερμοκρασίας)
<b>Υπερκρίσιμη θερμοκρασία</b>	Τιμές p-T για υγρά και ατμούς (ρευστά) πάνω από το κρίσιμο σημείο.
<b>Υπέρθερμος ατμός</b>	Ατμός σε θερμοκρασίες και πιέσεις που ξεπερνούν αυτές που αντιστοιχούν σε κορεσμό (I για παράδειγμα). Οι <b>βαθμοί υπερθέρμανσης</b> 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.
<b>Περιοχή δύο φάσεων</b>	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).
<b>Εξάτμιση</b>	Η αλλαγή φάσης από υγρό σε ατμό δηλαδή, ο βρασμός (D σε F).



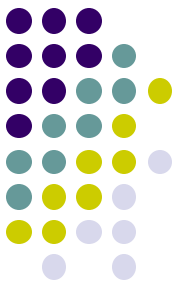


\*16.2 Με βάση τα παρακάτω διαγράμματα φάσεων, απαντήστε τις ερωτήσεις και εξηγήστε τις απαντήσεις σας.

- (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;

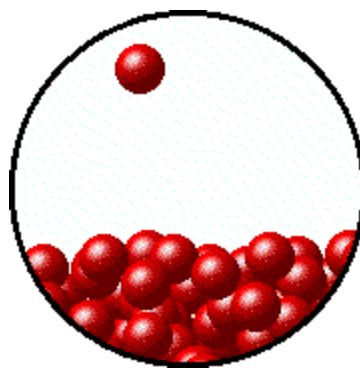


- (γ) Ποια είναι κατά προσέγγιση η θερμοκρασία τριπλού σημείου για την ουσία Β;  
(δ) Ποιες ενώσεις εξαχνώνονται στην ατμοσφαιρική πίεση;



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

# Κορεσμός



$$T_1 < T_2$$

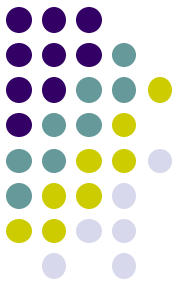


Όταν οποιοδήποτε μη συμπυκνώσιμο ~~υγρό~~ (ή αέριο μίγμα) έρθει σε επαφή με ένα υγρό, το αέριο θα προσλάβει κάποια από τα μόρια του υγρού. Αν η επαφή διατηρηθεί για αρκετό χρόνο, η εξάτμιση θα συνεχιστεί μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας στην διάρκεια της οποίας η μερική πίεση του ατμού στο αέριο 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.

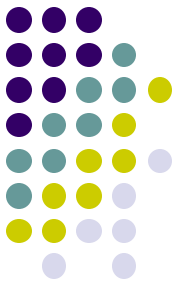


# Σημείο δρόσου-φυσσαλίδας



- Σημείο δρόσου (ατμού)  
θερμοκρασιακό σημείο κορεσμένου ατμού που η 1<sup>η</sup> 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).

**Εξάτμιση**

σταθερά  $P, T$   
Διεργασίες σε ισορροπία

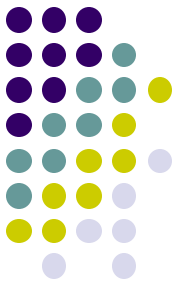
**Συμπύκνωση**

**Τάση ατμών (του υγρού) = Η πίεση ισορροπίας = Μερική πίεση (του 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

<u>Μερική πίεση</u> (του ατμού)	<u>Τάση ατμών</u> (του υγρού)
------------------------------------	----------------------------------

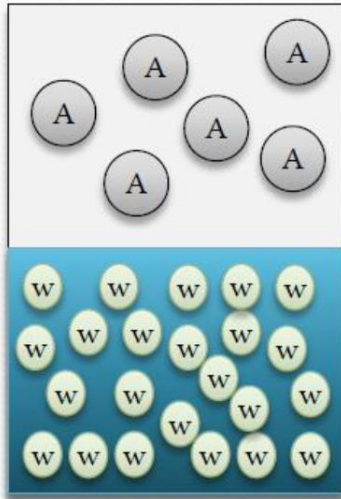
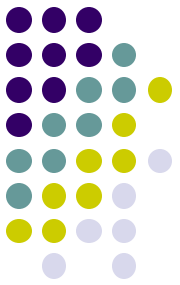
$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}^*}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{αέρα}}} = \frac{p_{\text{ολική}} - p_{\text{αέρα}}}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{ολική}} - p_{\text{H}_2\text{O}}}$$

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

Επίσης

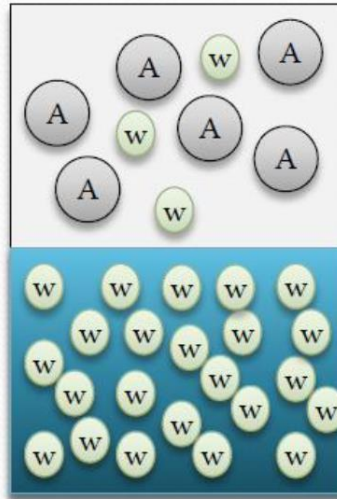
$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{ολική}}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{αέρα}} + p_{\text{H}_2\text{O}}} = 1 - y_{\text{αέρα}}$$

# Μεταβολή της τάσης ατμών με τη θερμοκρασία



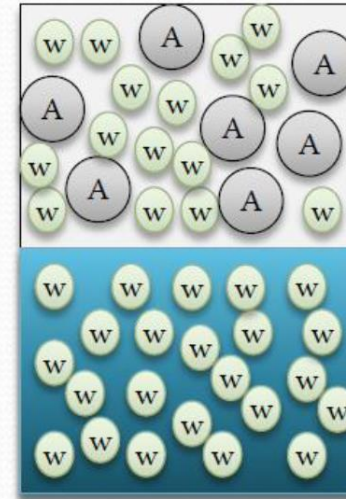
Αρχική κατάσταση

$$p_{H_2O} = 0.0 \text{ mm Hg}$$



Αέρας με υπέρθερμο ατμό

$$p_{H_2O} = y_{H_2O}P < p_{H_2O}^*(T)$$



Αέρας κορεσμένος σε ατμό

$$p_{H_2O} = y_{H_2O}P = p_{H_2O}^*(T)$$

# Μεταβολή της τάσης ατμών με τη θερμοκρασία



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

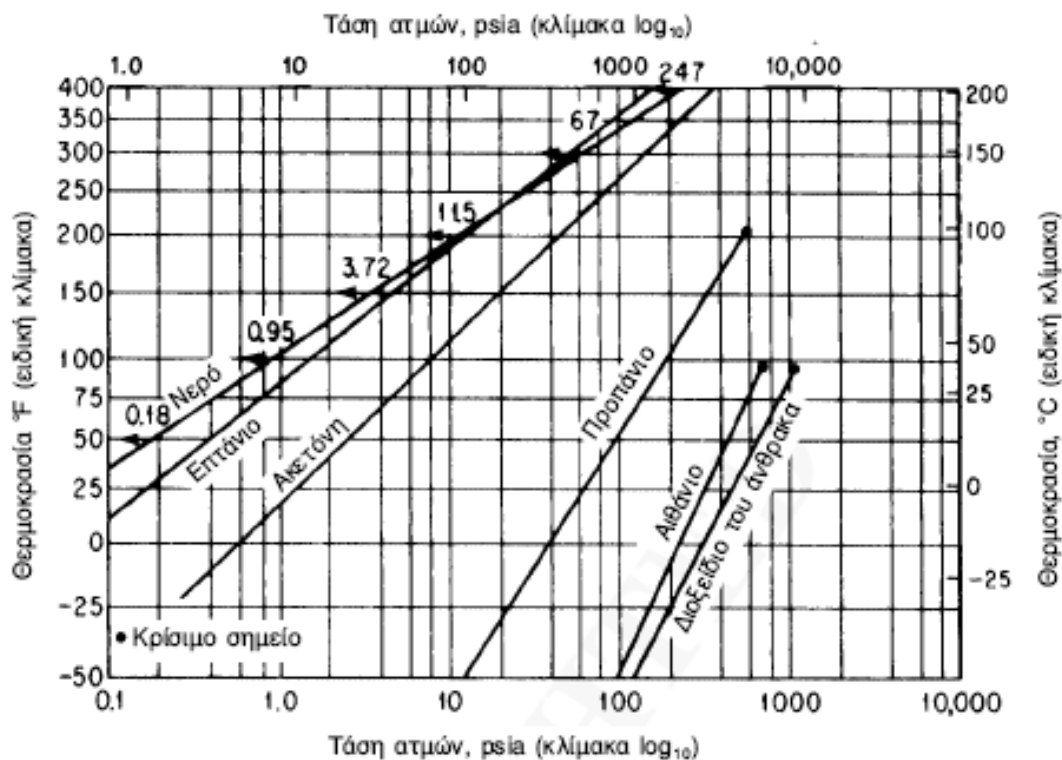
T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)	T °C	P (torr)
0	4.6	17	14.5	35	42.2	53	107.2	71	243.9
1	4.9	18	15.5	36	44.6	54	112.5	72	254.6
2	5.3	19	16.5	37	47.1	55	118.0	73	265.7
3	5.7	20	17.5	38	49.7	56	123.8	74	277.2
4	6.1	21	18.7	39	52.4	57	129.8	75	289.1
5	6.5	22	19.8	40	55.3	58	136.1	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

# Μεταβολή της τάσης ατμών με τη θερμοκρασία



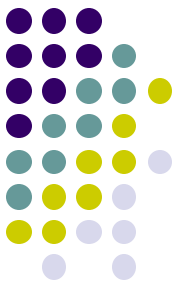
- Η μεταβολή της τάσης ατμών ( $p^*$ ) με τη θερμοκρασία δεν είναι γραμμική.
- Για διευκόλυνση θέλουμε να είναι της μορφής  $\psi = ax + b$ , ή  $(\log p^*) = a(1/T) + b$
- Επειδή τα πειραματικά δεδομένα δεν είναι απολύτως γραμμικά, οι αποκλίσεις από τη γραμμικότητα διορθώνονται με το Διάγραμμα Cox.



**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  $51^{\circ}\text{C}$ , και η απόλυτη πίεση του συστήματος είναι ίση με  $750\text{ mm Hg}$ .

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

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

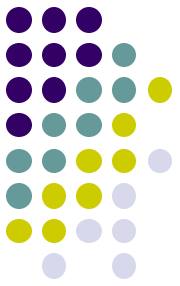
Ακόμη, το μίγμα αέρα-ατμού έχει την παρακάτω σύσταση

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

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

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

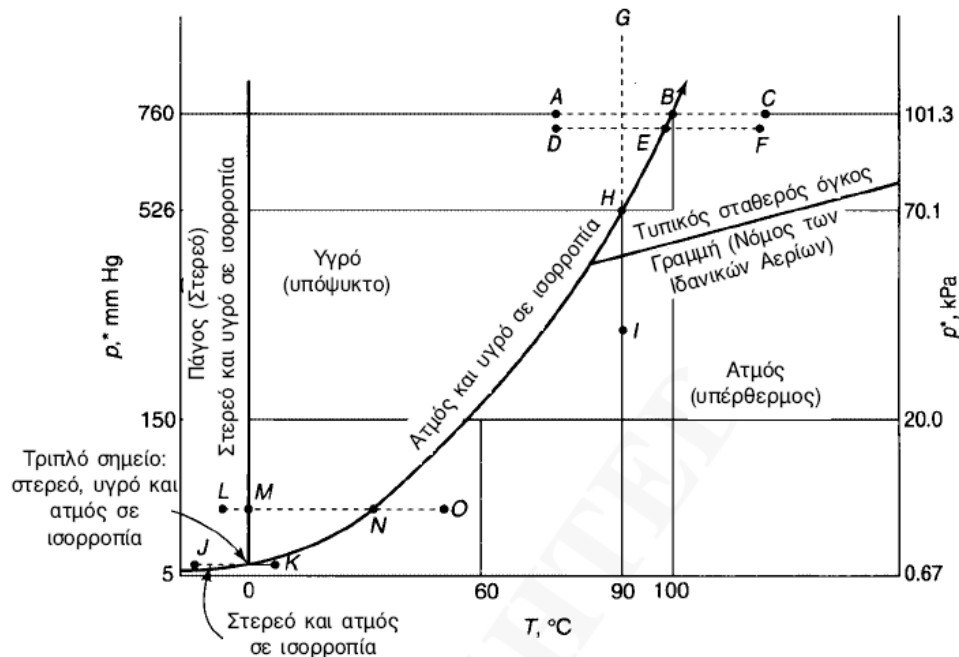
# Συμπύκνωση (μετατροπή ενός ατμού σε υγρό)



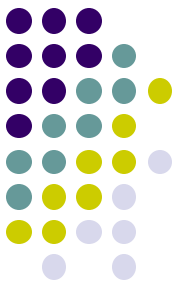
Μερικοί συνηθισμένοι τρόποι συμπύκνωσης:

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

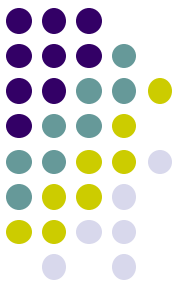
$$p_{\text{H}_2\text{O}}^* = p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.10(750) = 75 \text{ mm Hg}$$

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

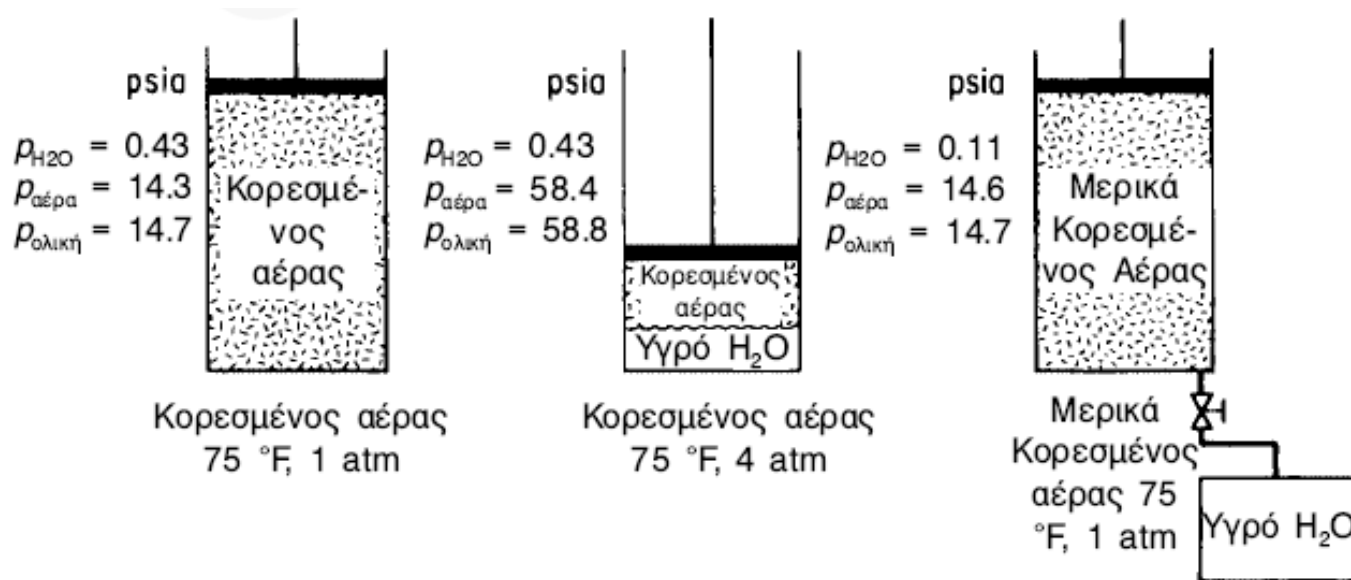
Άρα δεν έχω κορεσμό

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 αύξηση πίεσης)

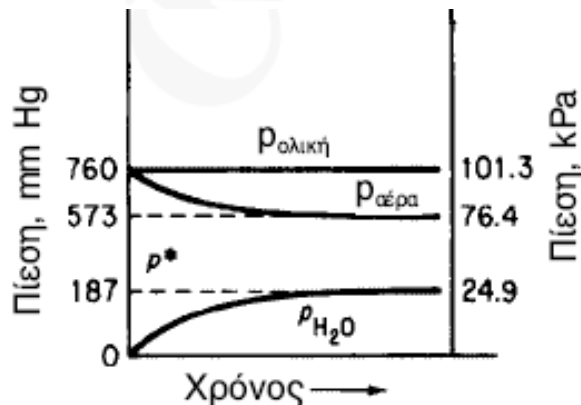
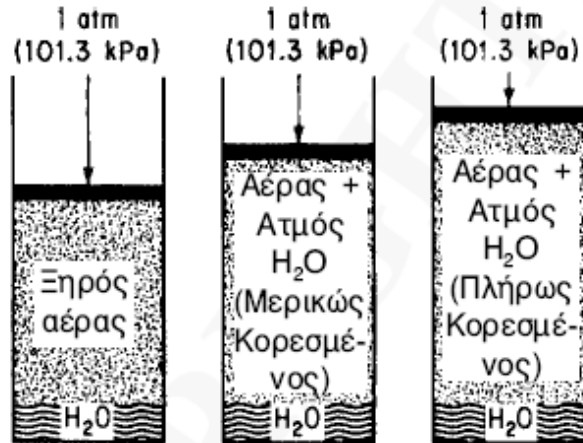
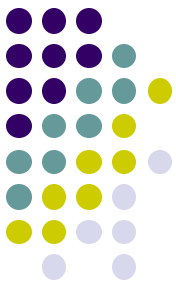


Η συμπύκνωση μπορεί επίσης να λάβει χώρα και όταν η πίεση σε ένα μίγμα ατμού-αερίου αυξηθεί. Αν 1 λίβρα κορεσμένου αέρα στους 75 °F συμπιεστεί ισοθερμικά (με ελάττωση του όγκου, φυσικά), το υγρό νερό θα κατακαθίσει από τον αέρα, όπως ακριβώς όταν στραγγίζουμε ένα βρεγμένο σφουγγάρι (βλέπε Σχήμα 17.3).



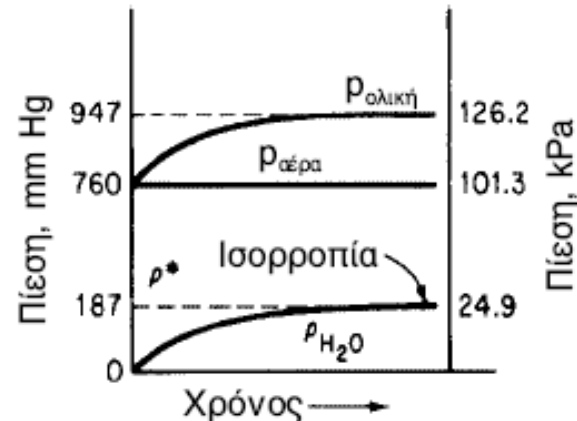
**Σχήμα 17.3** Επίδραση της αύξησης της πίεσης στον κορεσμένο αέρα, απομάκρυνση του συμπυκνωμένου νερού, και επιστροφή στην αρχική πίεση με σταθερή θερμοκρασία.

# Εξάτμιση (μετατροπή υγρού σε ατμό)



Σταθερή Θερμοκρασία  
και Ολική Πίεση  
(Μεταβλητός Όγκος)

α

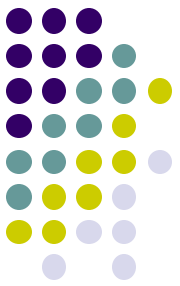


Σταθερή Θερμοκρα-  
σία και Όγκος  
(Μεταβλητή Πίεση)

β

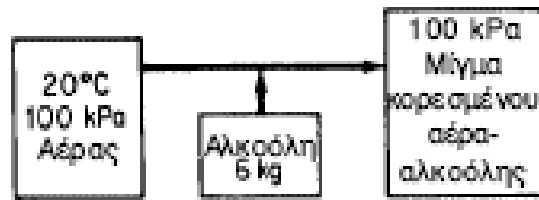
**Σχήμα 17.4** Μεταβολή της μερικής και ολικής πίεσης κατά την εξάτμιση του νερού σε αρχικά ξηρό αέρα: (α) σε σταθερή θερμοκρασία και ολική πίεση (μεταβλητός όγκος), (β) σε σταθερή θερμοκρασία και όγκο (μεταβλητή πίεση).

# 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-

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

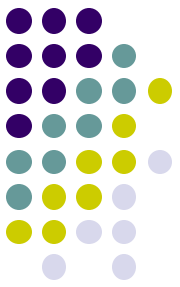
με τον αριθμό των moles του αέρα που απαιτούνται για την εξάτμιση.

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

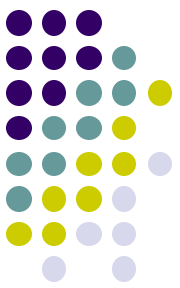
$$P_{\text{αέρα}} = P_{\text{ολική}} - P_{\text{αλκοόλης}}^* = (100 - 5.93) \text{ kPa} = 94.07 \text{ kPa}$$

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

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



# 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

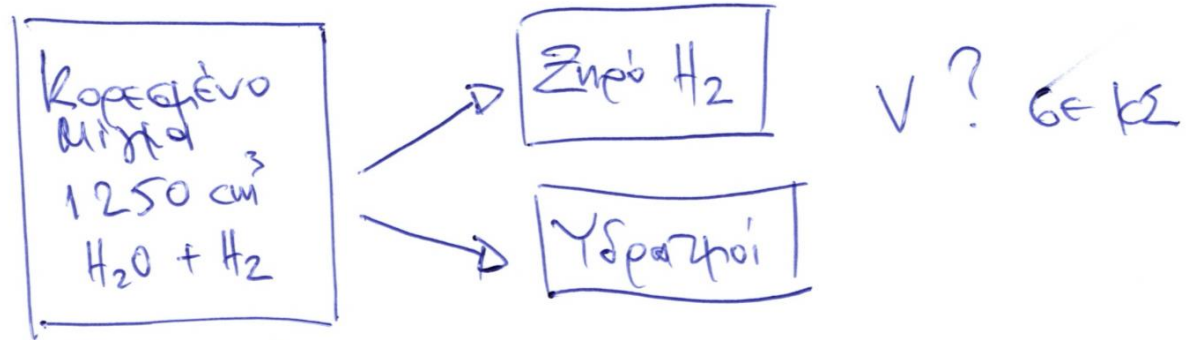
$$V_{\text{αλκοόλης}} = \left( \frac{6}{46.07} \right) \left| \frac{8.314}{5.93} \right| \frac{293}{5.93} = 53.5 \text{ m}^3 \text{ στους } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και } 5.93 \text{ kPa}$$

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 m<sup>3</sup> ώστε να υπολογίσετε τον όγκο του αέρα:

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

# Παράδειγμα



$$742 \text{ mm Hg}$$

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

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

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

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

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

## 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

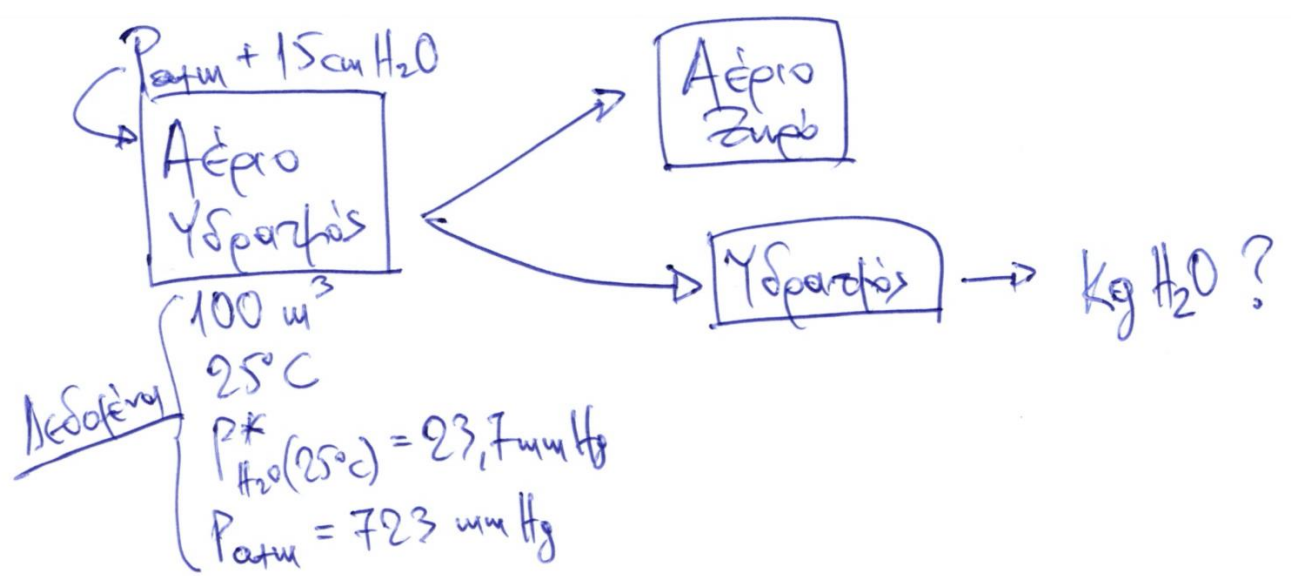
50°C:  $p^*=92.5$  mm Hg

75°C:  $p^*=289.1$  mm Hg

80°C:  $p^*=355.1$  mm Hg

90°C:  $p^*=526.0$  mm Hg

# Παράδειγμα



$$P_{\text{ox}} = P_{\alpha\tau\mu} + 15 \text{ cm H}_2\text{O} = 723 + 11 \text{ mmHg} \Rightarrow P_{\text{ox}} = 734 \text{ mmHg}$$

$$\left( \frac{15 \text{ cm H}_2\text{O}}{1033 \text{ cm H}_2\text{O}} \cdot 760 \text{ mmHg} \right)$$

$$P_{\text{ox}} = P_{\alpha\epsilon\text{p}\text{i}\omega} + P_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow 734 = P_{\alpha\epsilon\text{p}\text{i}\omega} + 23,7 \Rightarrow P_{\alpha\epsilon\text{p}\text{i}\omega} = 710,3 \text{ mmHg}$$

100 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O

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

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



# Chinook, ο άνεμος που τρώει το χιόνι



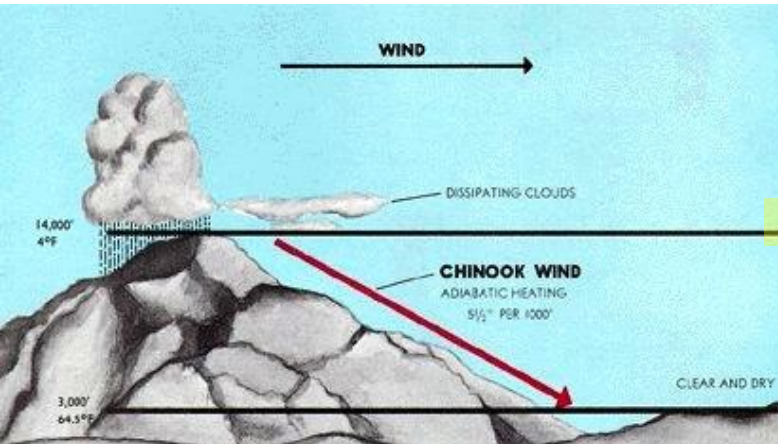
Κάθε χρόνο στην περιοχή γύρω από την Κοιλάδα Bow River στον νοτιοδυτικό Καναδά, επικρατούν θερμοκρασίες που μπορούν να φτάσουν τους  $-40^{\circ}\text{F}$ . Και σχεδόν κάθε χρόνο, όταν φυσά ο άνεμος Chinook, η θερμοκρασία σκαρφαλώνει στους  $60^{\circ}\text{F}$ . Σε λίγες μόνο ώρες στην περιοχή αυτή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

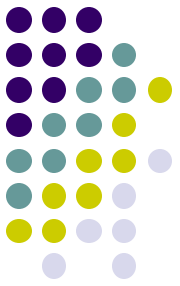
...ο αέρας γίνεται πιο ζεστός με την αύξηση της πίεσης. Καθώς ο αέρας κατεβαίνει την πλευρά του βουνού, η θερμοκρασία του αυξάνει  $5.5^{\circ}\text{F}$  κάθε  $1000$  πόδια. Έτσι έχουμε έναν ζεστό, βαρύ και ξηρό αέρα που κατεβαίνει προς την Κοιλάδα Bow River στην βάση του βουνού. Ο Chinook είναι αυτός 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 ( $-40^{\circ}\text{F}$ ). 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 m<sup>3</sup>/s αερίου θα ξηρανθεί από σημείο δρόσου 294<sup>o</sup>K σε σημείο δρόσου 277.5<sup>o</sup>K. 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 δωμάτιο Δρόσας  $294^{\circ}\text{K}$  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 γύμναση και την αφαίρεση  $\text{H}_2\text{O}$  η μάζα  $\text{H}_2\text{O}$  στο αέριο filter θα είναι:

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

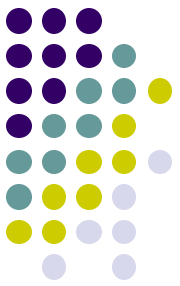
Αρα θα αφαιρεθούν  $0,0184 - 0,0066 = 0,0118 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3$  αερίων ή

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

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

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

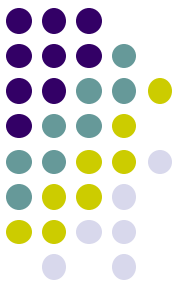
$$\text{Ο όγκος / παροχή αέρα γίνεται } 0,6 - 0,0088 = \boxed{0,519 \text{ m}^3 \text{ αερίων/s}}$$



# **ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ**

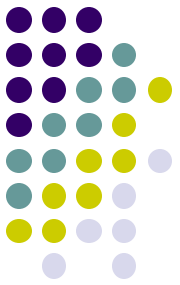
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΦΑΣΕΩΝ  
ΑΕΡΙΩΝ-ΥΓΡΩΝ (ΜΕΡΙΚΟΣ  
ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑ)**

# 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)**
- **Όταν ο ατμός είναι υδρατμός και το αέριο αέρας, χρησιμοποιείται ο όρος Υγρασία.**

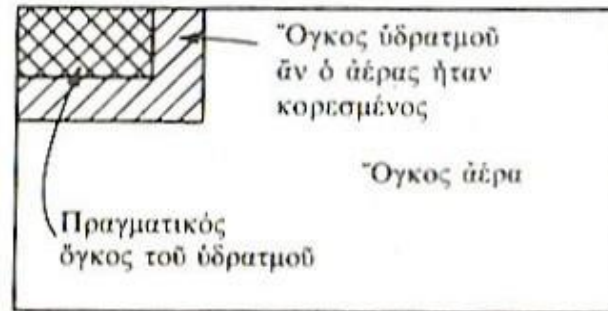
# Σχετικός κορεσμός



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

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

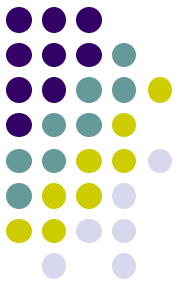
$$\S \quad RS = \frac{P_{\text{ατμού}}}{P_{\text{κορ}}} = \frac{P_1}{P_1^*} = \frac{P_1/P_t}{P_1^*/P_t} = \frac{V_1/V_t}{V_{\text{κορ}}/V_t} = \frac{n_1}{n_{\text{κορ}}} = \frac{Kg_1}{Kg_{\text{κορ}}}$$



**Σχήμα.** Αέριο μερικά κορεσμένο με υδρατμό.

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

# Ισοζύγια μάζας με συμπύκνωση και εξάτμιση



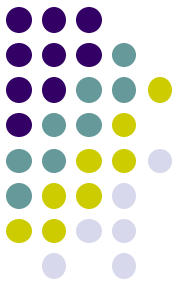
- § Εξετάστηκαν παραδείγματα ξήρανσης με νερό και κάποιο ξηρό υλικό (π.χ. χαρτοπολτός)
- § Τώρα προσθέτουμε και τον αέρα (δηλ. αέρας, υδρατμοί, ξηρό υλικό)
- § Σημείο δρόσου γνωστό (πότε συμπυκνώνεται η 1<sup>η</sup> σταγόνα) **ΑΡΑ** τάση ατμών γνωστή και **ΑΡΑ** μερική πίεση υδρατμών στο μίγμα γνωστή
- § 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. αύξηση 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.**

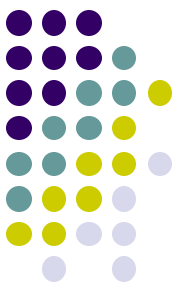


# Παράδειγμα



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

Εννοιες : 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.  $1 \text{ m}^3$ ) 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

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

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

Εφαρμόζοντας το νόμο Dalton:

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

### Παράδειγμα 3.24 (Σχετική Υγρασία)

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

#### Λύση

- $P_{\text{H}_2\text{O}}^*(34^{\circ}\text{C}) = 40 \text{ mmHg}$  (βλ. Πίνακας Παραρτήματος)

- Σχετ. Υγρασία =  $\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}^*} \cdot 100 \Rightarrow 43 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{40} \cdot 100 \Rightarrow P_{\text{H}_2\text{O}} = 17 \text{ mmHg}$

- $P_{\text{αέρα}} = P_{\text{ολ}} - P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{ατμ}} - P_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow P_{\text{αέρα}} = 754 - 17 \Rightarrow P_{\text{αέρα}} = 737 \text{ mmHg}$

- |                 |                       |                     |                     |                             |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| $1 \text{ m}^3$ | $273^{\circ}\text{K}$ | $17.2 \text{ mmHg}$ | $1 \text{ kg-mole}$ | $18 \text{ kg H}_2\text{O}$ |
|                 | $307^{\circ}\text{K}$ | $760 \text{ mmHg}$  | $22.4 \text{ m}^3$  | $1 \text{ kg-mole}$         |

 =  $0,016 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{m}^3$  αέρα στους  $34^{\circ}\text{C}$  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 γύρισμα 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 μείωση της θερμοκρασίας.

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 δρόσων). Η πίεση ατμών λοιπόν των 17 mmHg ( $P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^*$ ) αντιστοιχεί σε θερμοκρασία

19,5°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

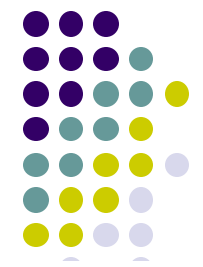
20°C,  $p^*=17.5$  mm Hg

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