

Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών

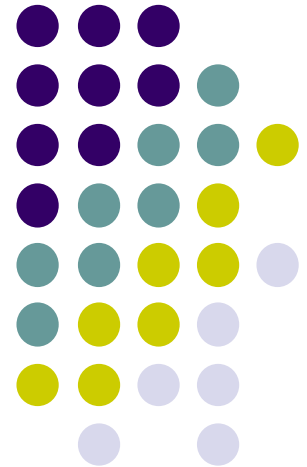
6ο εξάμηνο

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

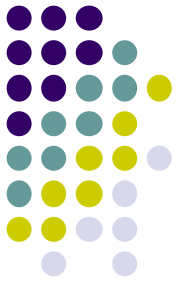
Μέρος 2^ο : Ισοζύγια μάζας ✓

Μέρος 3^ο :

**ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ
ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ**



ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ



9^η Έκδοση

Κεφ. 6. Ιδανικά και Πραγματικά Αέρια

Κεφ. 7. Ισορροπία Πολυφασικών Μιγμάτων

ΑΕΡΙΑ, ΑΤΜΟΙ, ΥΓΡΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ



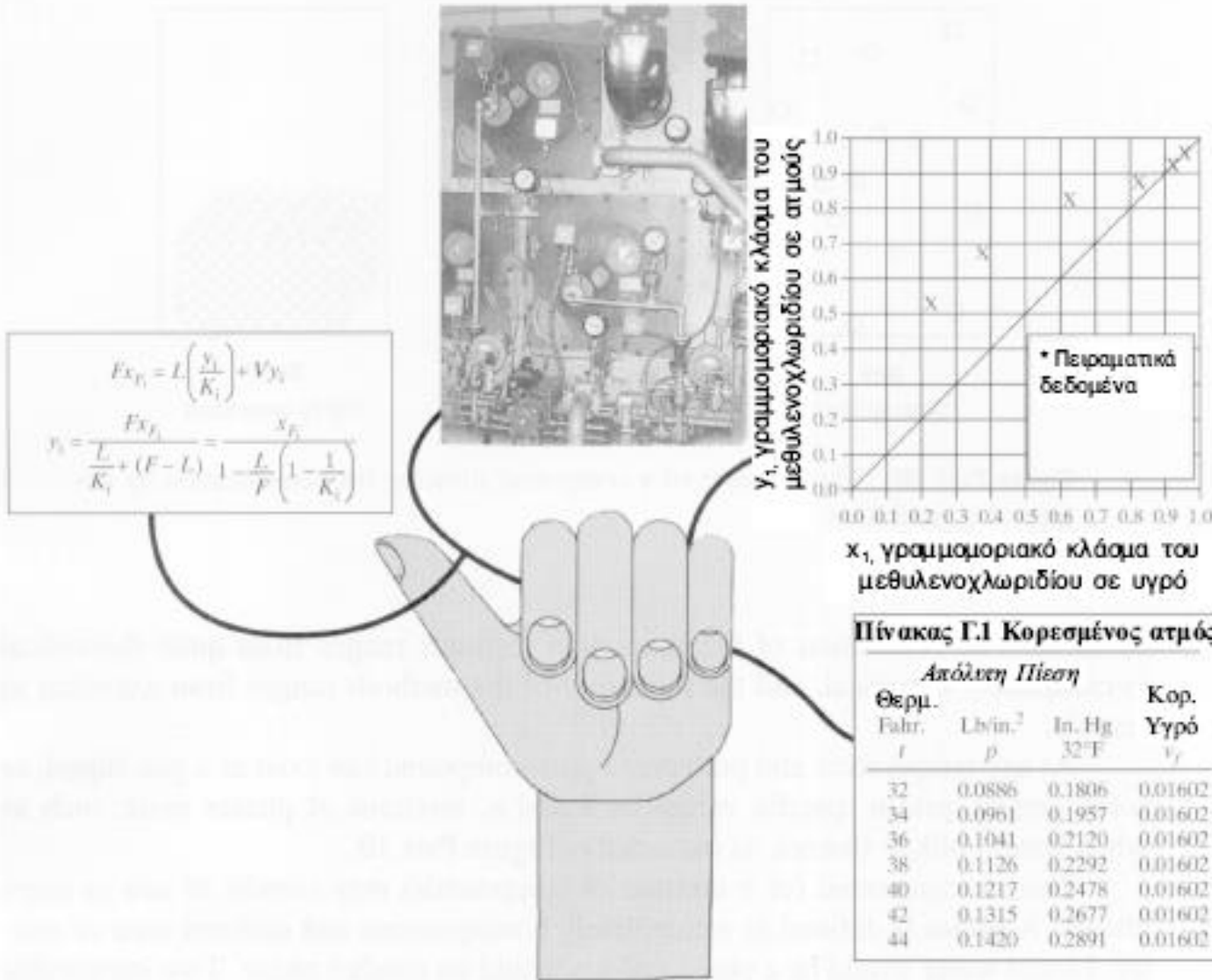
- Πρόβλεψη των φυσικών ιδιοτήτων (πίεση, όγκος θερμοκρασία, κτλ.) καθαρών συστατικών και μιγμάτων. Εξοικείωση με την πρόβλεψη φυσικών ιδιοτήτων, αφού οι τιμές τους αποτελούν τη βάση για το σχεδιασμό, τη λειτουργία και την αντιμετώπιση προβλημάτων.
- Ιδιότητες ρευστών & στερεών απαραίτητες για σχεδιασμό 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 καθарές 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



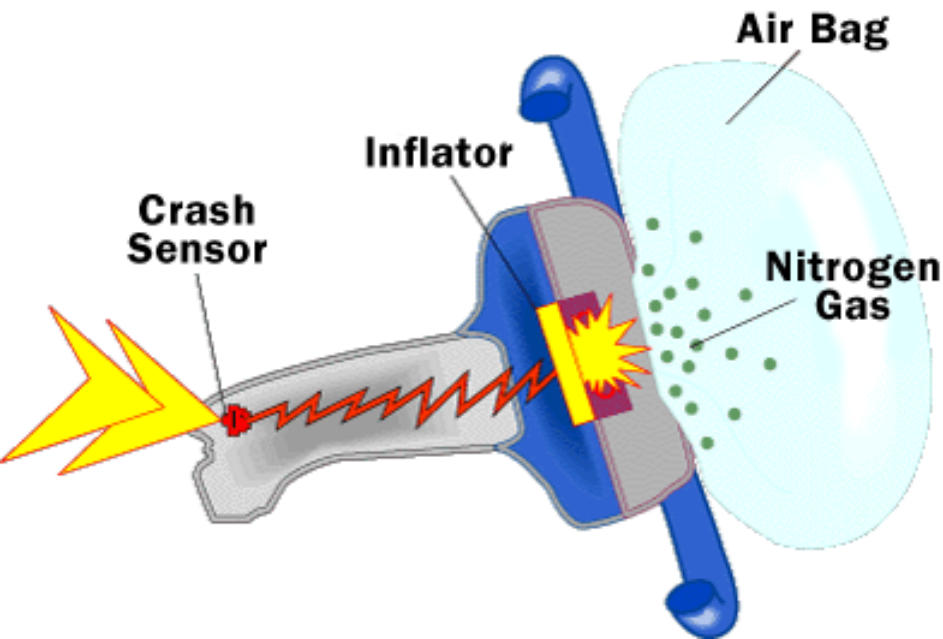
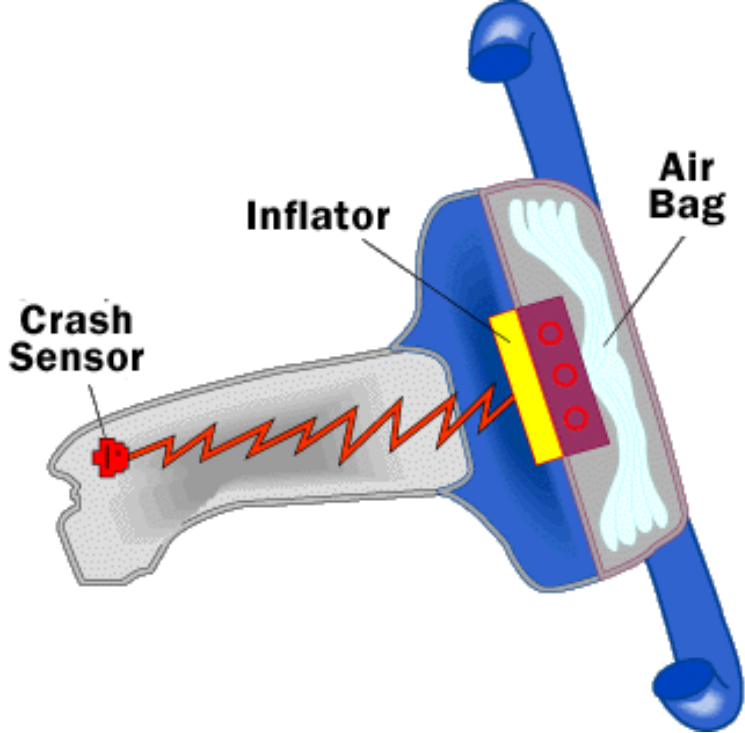
Κάθε τι που μπορεί να μετρηθεί δεν σημαίνει ότι αξίζει, και κάθε τι που αξίζει ίσως να μην μπορεί να μετρηθεί.

Albert Einstein

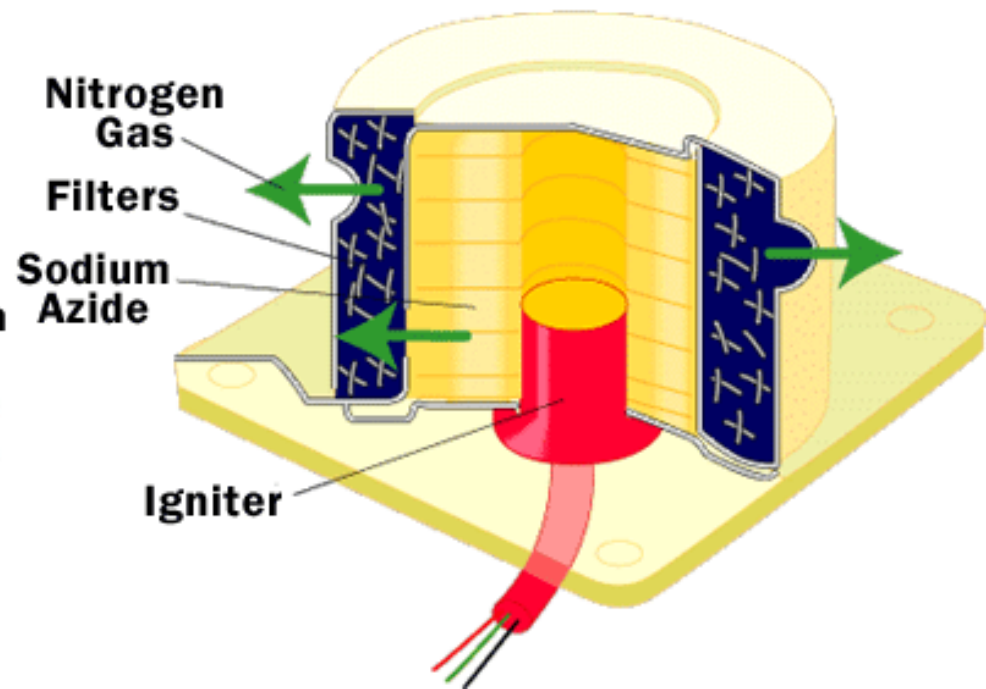


- Πειραματικά δεδομένα
- Πίνακες
- Γραφικές παραστάσεις
- Εξισώσεις

Χημεία αερόσακκου

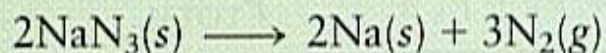


Air Bag Inflation Device



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, 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°C and 1 atm).

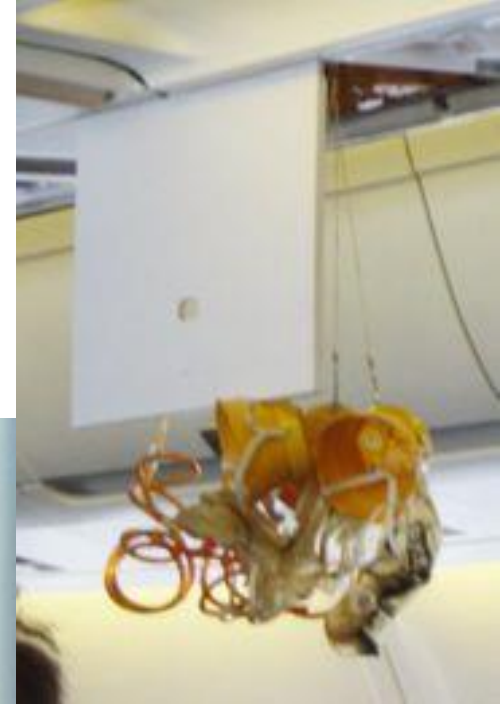
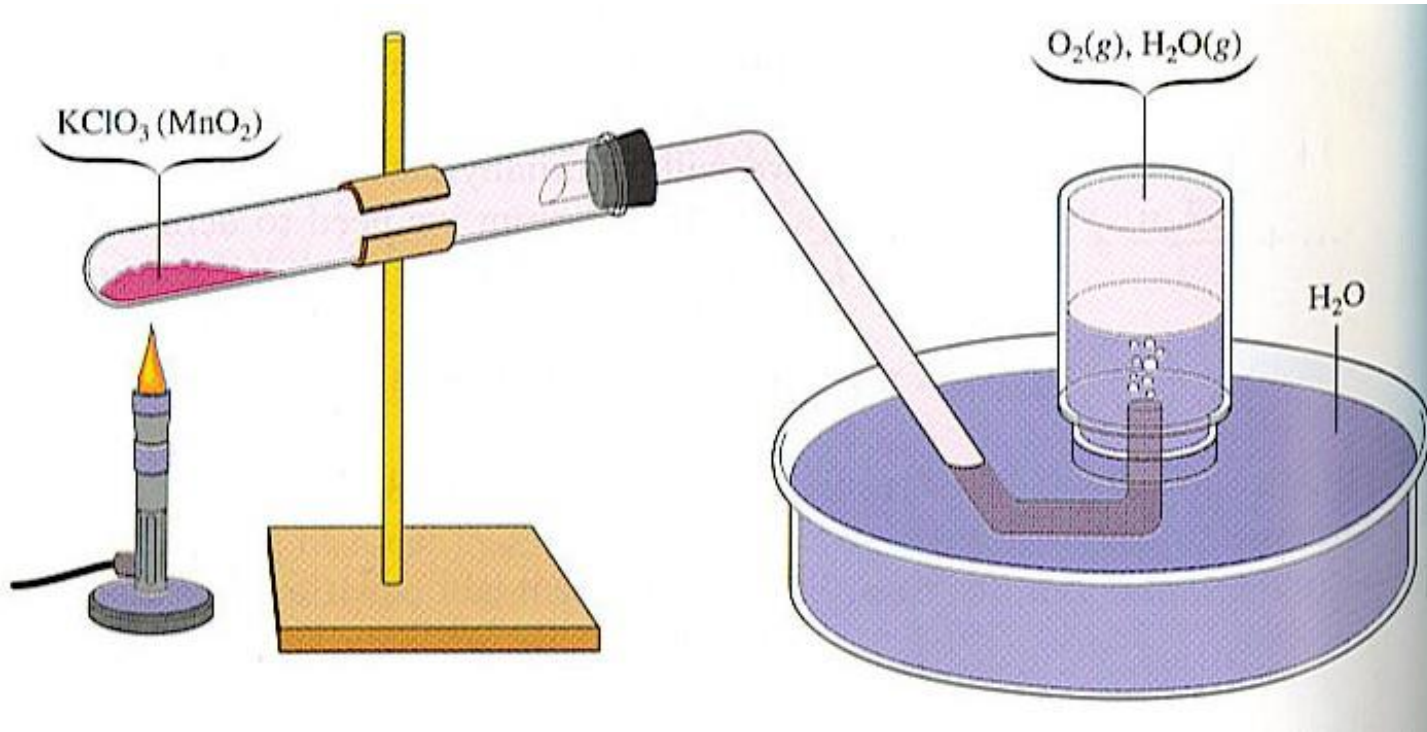
When a vehicle containing air bags reaches the end of its useful life, the sodium azide present in the activators must be given proper disposal. Sodium azide, besides being explosive, has a toxicity roughly equal to that of sodium cyanide. It also forms hydrazoic acid (HN_3), a toxic and explosive liquid, when treated with acid.

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

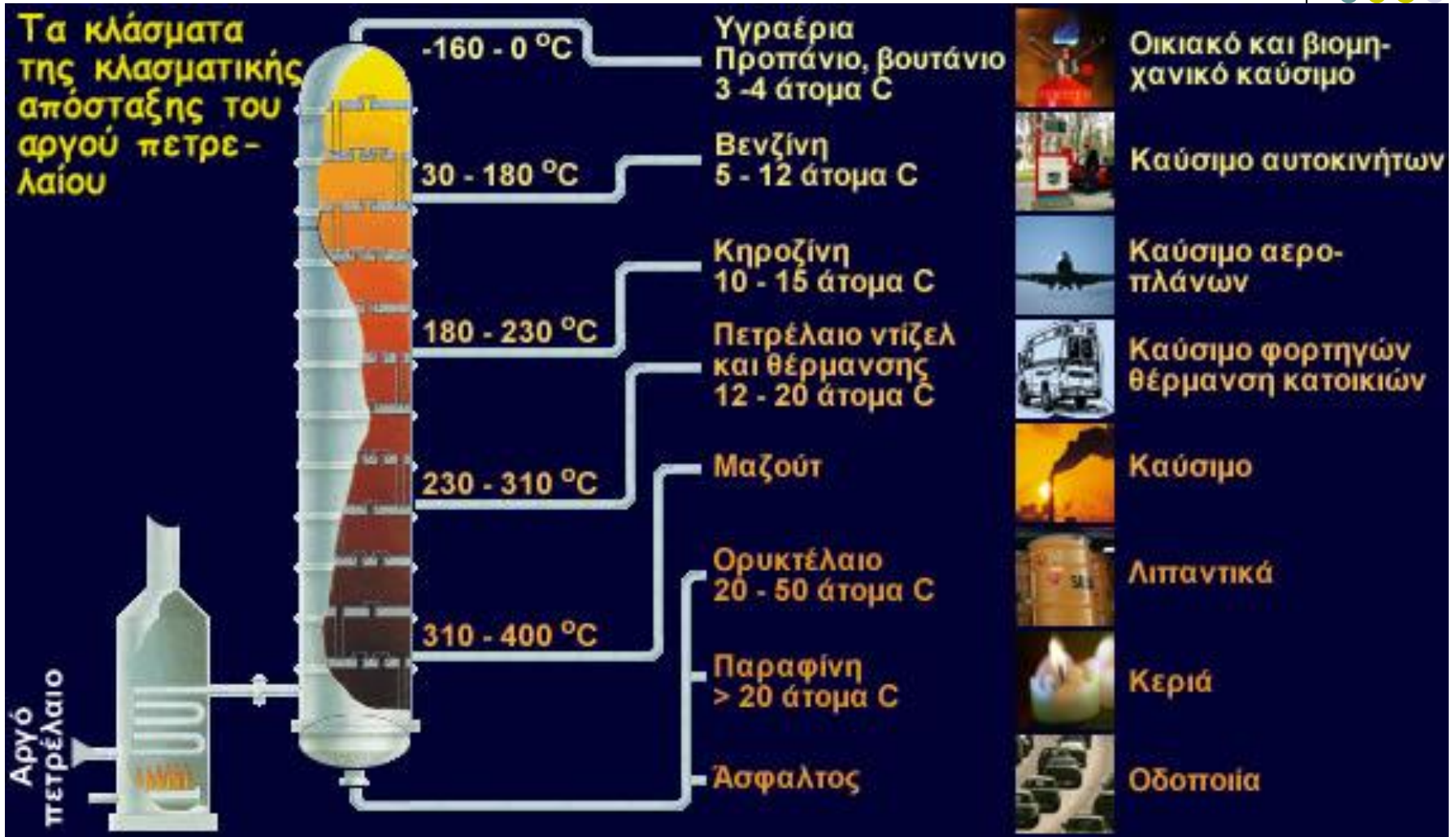


Inflated dual airbags.

Παραγωγή O_2 για συνθήκες έκτακτης ανάγκης σε αεροπορικά ταξίδια



Διύληση Πετρελαίου



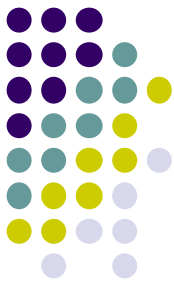


ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

13.1 Ο Νόμος των Ιδανικών Αερίων

13.2 Μίγματα Ιδανικών Αερίων και Μερικές Πιέσεις

13.3 Ισοζύγια Μάζας που Περιλαμβάνουν Ιδανικά Αέρια



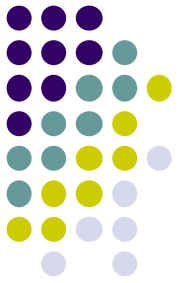
Τον Ιούλιο του 1984, μία έκρηξη στο Λιμάνι του Χιούστον, σκότωσε τον χειριστή περονοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος κατά την εκφόρτωση δοχείων που περιείχαν φωσφορικό αλουμίνιο (ζιζανιοκτόνο) από ένα Βραζιλιάνικο πλοίο. Η ακτοφυλακή ανακάλυψε αργότερα ότι η παρτίδα του εντομοκτόνου, η οποία ήταν αποθηκευμένη σε φορτηγά σε συνθήκες ψύξης με άζωτο, είχε αρχίσει να θερμαίνεται και να αποσταθεροποιείται, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος έκρηξης. Έτσι, αποφάσισαν να πετάξουν τις φιάλες με το ζιζανιοκτόνο στην θάλασσα. Η παραπάνω χημική ένωση μετατρέπεται στο δηλητηριώδες αέριο φωσφίνη, όταν έρθει σε επαφή με τον αέρα ή το νερό.

Αρχικά, τα δοχεία που περιείχαν τις πελλέτες απλά αποσφραγίστηκαν και πετάχτηκαν στην θάλασσα και αφού βυθίστηκαν για εκατό περίπου μέτρα, η χημική ένωση άρχισε να αντιδρά, λόγω επαφής, με το θαλασσίνο νερό, και το αέριο που βρισκόταν παγιδευμένο σε κάθε φιάλη τα ανάγκασε να ανέβουν στην επιφάνεια όπου και παρασυρόταν από τα κύματα. Η ακτοφυλακή όρισε μερικούς σκοπευτές ώστε να πυροβολούν κάθε δοχείο πριν παρασυρθεί επικίνδυνα. “Ήταν ένα καρναβάλι”, δήλωσε με αηδία κάποιος ομοσπονδιακός νομικός. **Αν σας είχαν συμβουλευτεί σχετικά με την απόρριψη των φιαλών, θα μπορούσατε να προβλέψετε το αποτέλεσμα; Τι θα μπορούσατε να κάνετε; Τι θα λέγατε αν χρησιμοποιούσατε τον νόμο των ιδανικών αερίων ώστε να προσδιορίσετε πόσο αέριο θα σχηματιζόταν το οποίο θα μπορούσε να δράσει σαν προωθητικό των φιαλών μέσα στο νερό;**

Σίγουρα, η πιο γνωστή εξίσωση η οποία και χρησιμοποιείται ευρέως είναι η εξίσωση που συνδέει τα p , V , και T ενός αερίου δηλαδή ο **νόμος των τέλειων (ιδανικών) αερίων**.

$$pV = nRT \quad (13.1)$$

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 $20^\circ C$ και μεταφερθεί σε χώρο $40^\circ C$, 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.

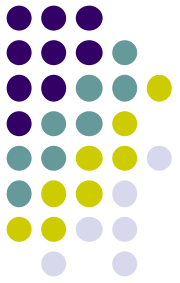
5. Διαστημόπλοια και Θαλάμοι Υψηλής Πίεσης

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.

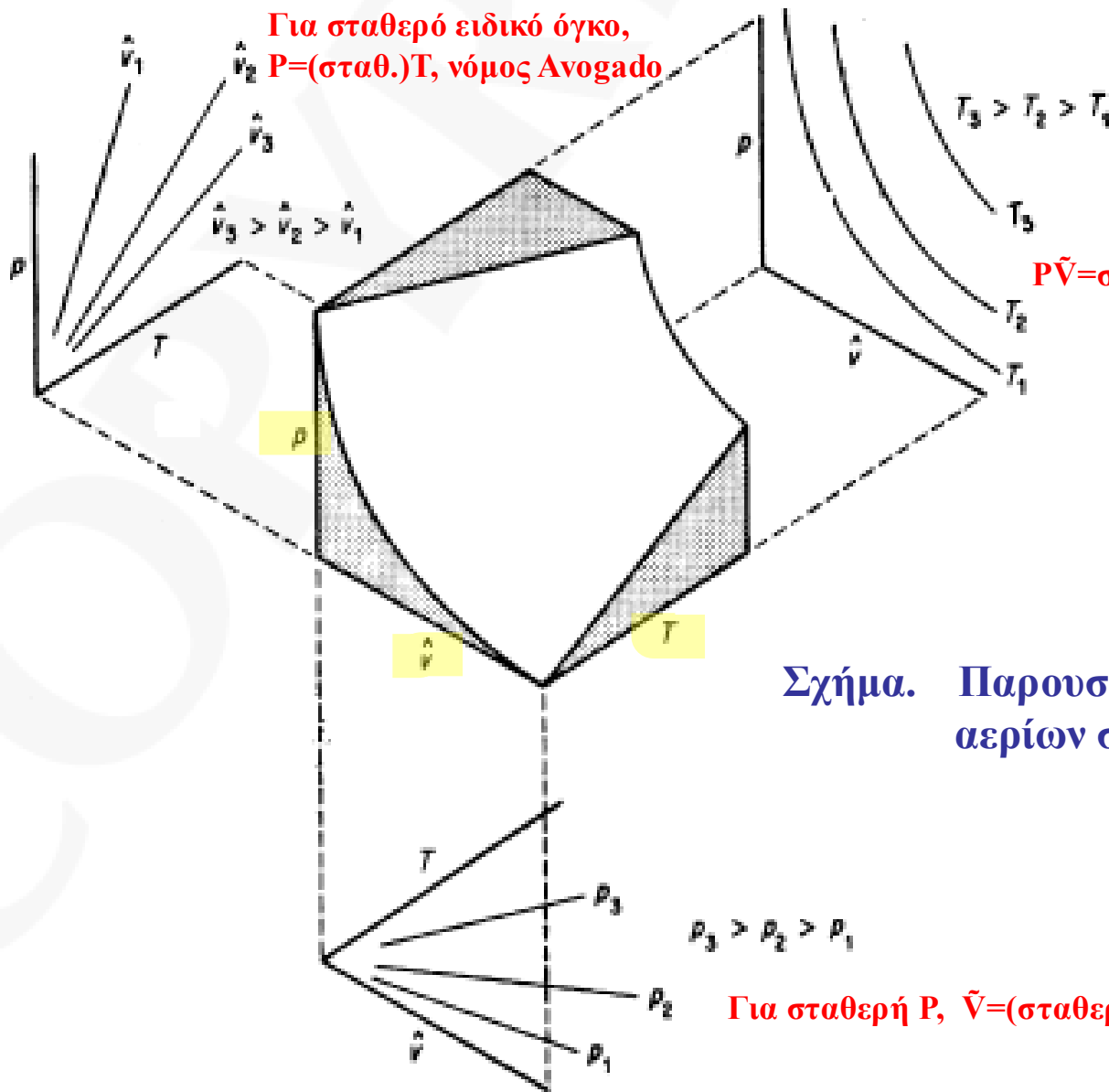
 *Παράδειγμα:*

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

$PV=nRT$ ή $P\tilde{V}=RT$



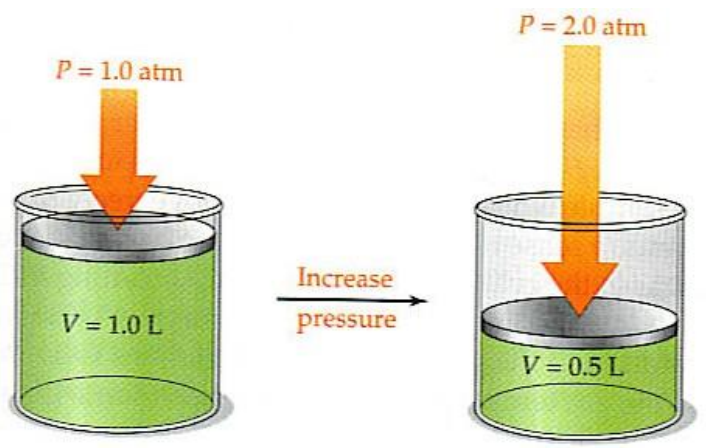
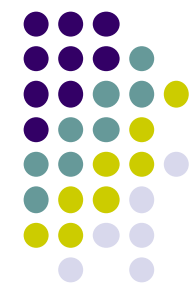
Για σταθερό ειδικό όγκο,
 $P=(\text{σταθ.})T$, νόμος Avogado



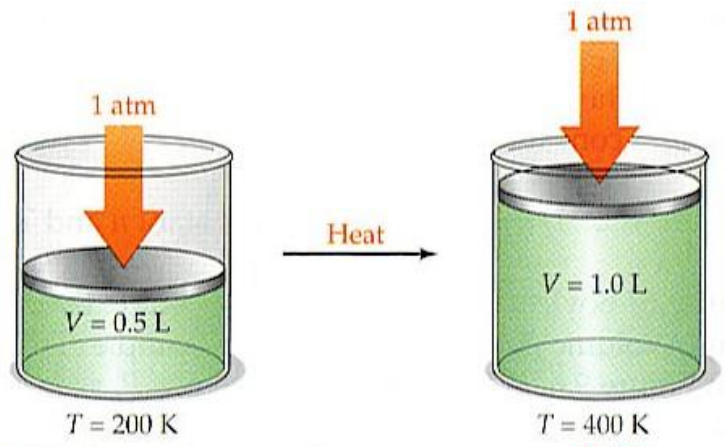
$P\tilde{V}=\text{σταθερό}$, (δηλ. υπερβολή), νόμος Boyle

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

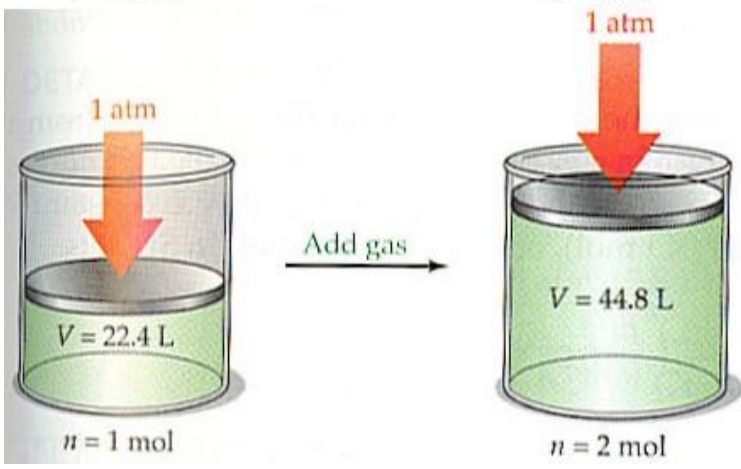
Για σταθερή P , $\tilde{V}=(\text{σταθερά})T$, νόμος Charles



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)

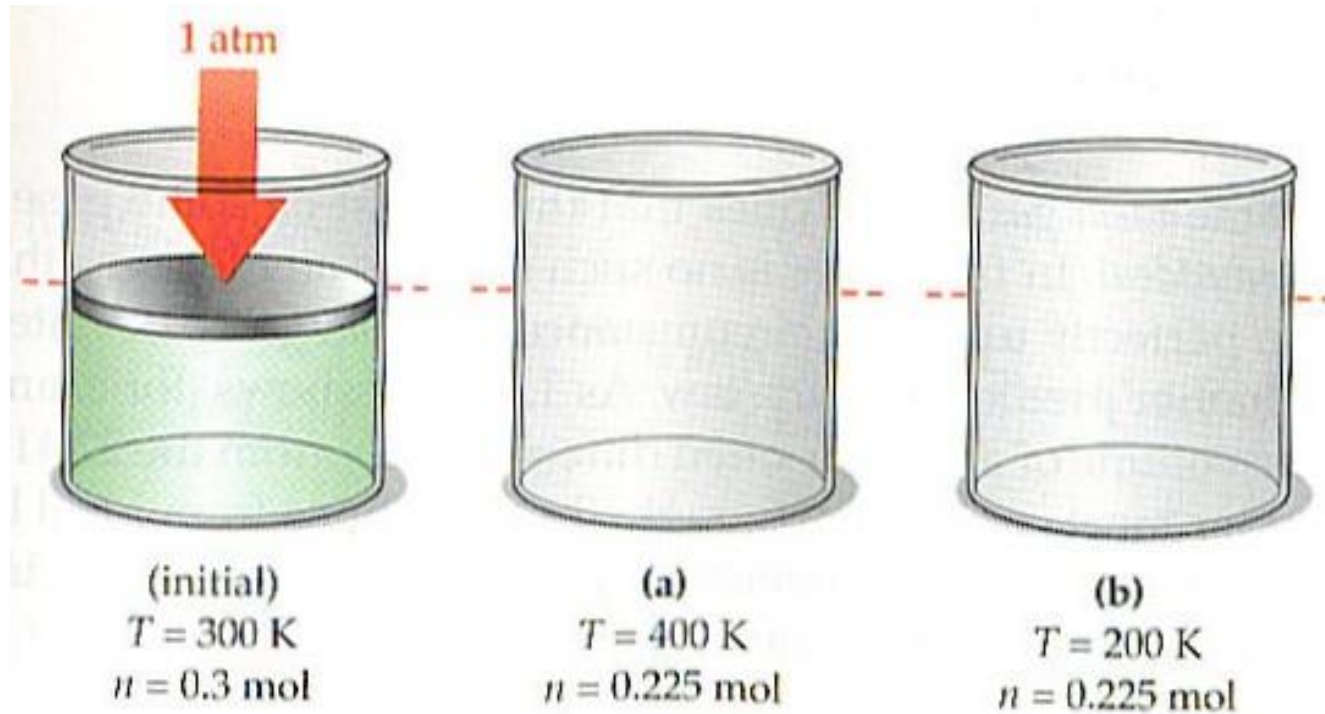
Συνηθισμένες Πρότυπες Συνθήκες



ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Πρότυπες συνθήκες.

Σύστημα	T	p	\hat{V}	R
SI	273,15 K	101,325 kPa	22,414 m ³ kmol ⁻¹	8,314 462 kPa m ³ kmol ⁻¹ K ⁻¹
Universal Scientific	0 °C	760 mm Hg	22,414 L mol ⁻¹	62,363 598 mmHg L mol ⁻¹ K ⁻¹
Universal Scientific B	273,15 K	1 atm	22,414 L mol ⁻¹	0,082 057 atm L mol ⁻¹ K ⁻¹
Αμερικάνικο (ΑΕ)	491,67 °R (32 °F)	1 atm	359,05 ft ³ lb-mol ⁻¹	0,730 240 atm ft ³ lb-mol ⁻¹ °R ⁻¹
Βιομηχανία φυσικού αερίου	59 °F (15 °C)	14.696 psia	379,4 ft ³ lb-mol ⁻¹	10,731 577 psia ft ³ lb-mol ⁻¹ °R ⁻¹

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 CO₂ σε κανονικές συνθήκες, θεωρώντας ότι το CO₂ δρα σαν ιδανικό αέριο.

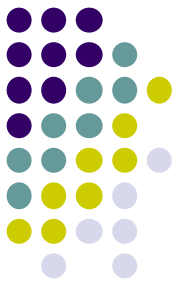
Λύση:

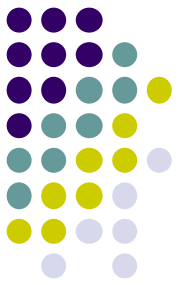
Βάση: 40 kg CO₂

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

Παρατηρήστε πως στο πρόβλημα αυτό η πληροφορία 22.4 m³ 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 cm³, 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 CO₂ 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 CO₂

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



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 CO₂

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



Μετατροπή συνθηκών

κωλύσιμος O_2

28 m³
20°C
14 atm

V = ?
32°C
10 cm H₂O
(φαινόμενη)

P_{atm} = 760 mm Hg

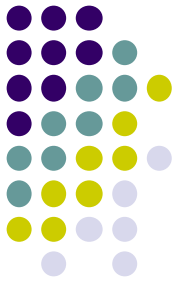
① (Αρχική)
P₁ : 11400 mm Hg
V₁ : 28 m³
T₁ : 293° K

② (Τελική)
P₂ : 767.3 mm Hg
V₂ : ?
T₂ : 305° K

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

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

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



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13.4 Υπολογισμός Πυκνότητας Αερίου

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

Λύση:

Βάση: $1\text{ m}^3 N_2$ στους $27^\circ C$ και σε 100 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 $27^\circ C$ (300 K) και σε 100 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.



Ειδικό βάρος αερίου

Παρατηρήσατε στο Παράδειγμα 13.5 ότι για ένα αέριο και το αέριο αναφοράς στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, το ειδικό βάρος ισούται με τον λόγο των αντίστοιχων μοριακών βαρών; Μπορείτε να φτάσετε στο ίδιο αποτέλεσμα ως εξής: Έστω A το ένα αέριο και B το άλλο. Θυμηθείτε ότι το \hat{V} για ένα αέριο είναι ο όγκος ανά mole και όχι ο όγκος ανά μάζα.

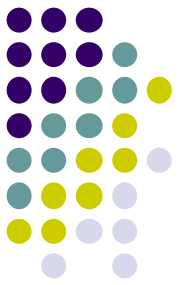
$$p\hat{V} = RT \quad \text{ή} \quad \hat{V} = \frac{1}{\rho/MW} = [RT/p]$$

Έτσι

$$\rho = \frac{(p)(MW)}{RT}$$

$$\text{Ειδικό βάρος} = \rho_A / \rho_B = (MW_A / MW_B) (T_B / T_A) (P_A / P_B) \quad (13.3)$$

στην ίδια θερμοκρασία και πίεση για τα A και B το ειδικό βάρος ισούται απλά με τον λόγο των αντίστοιχων μοριακών βαρών.

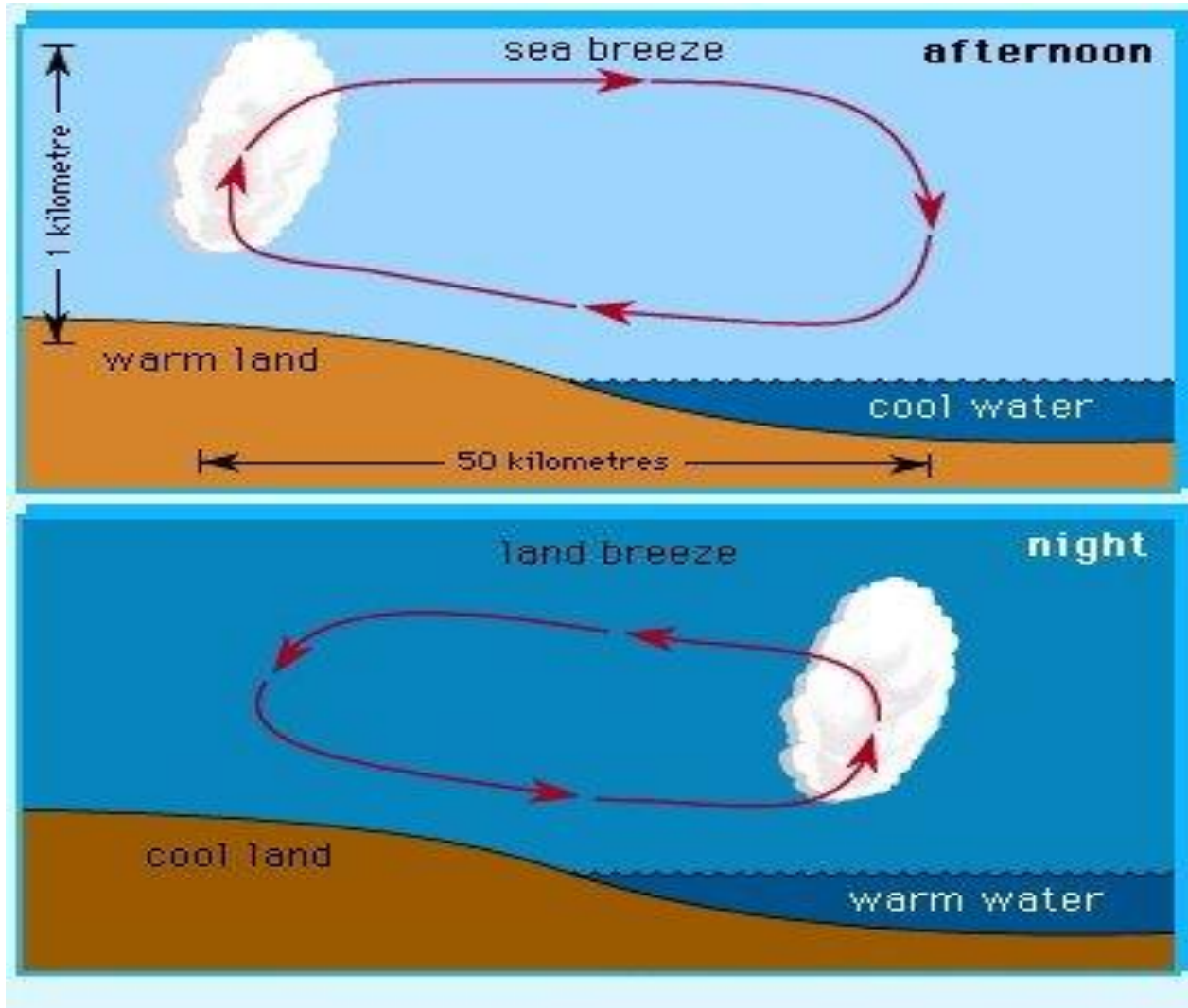
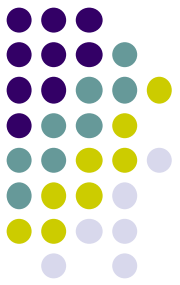


Προβλήματα για συζήτηση

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.

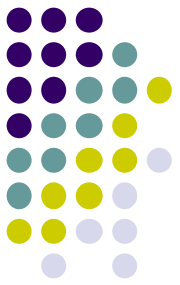
Ποια είναι η αιτία που προκαλεί αυτές τις αύρες;

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

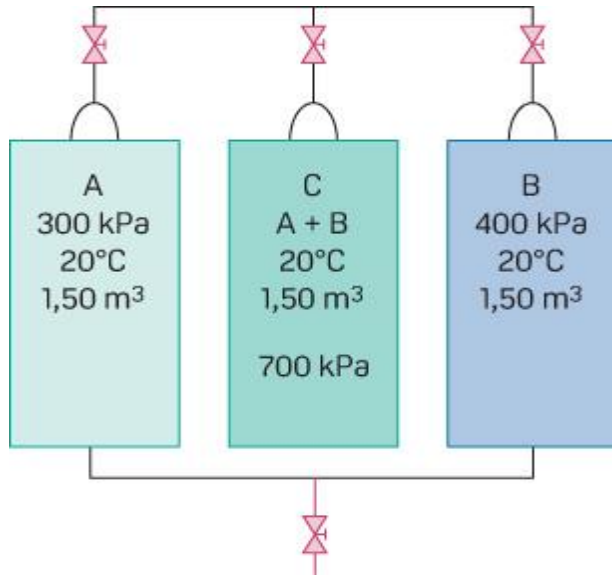
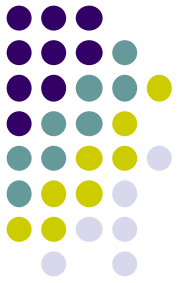
$$\frac{p_i V_{\text{ολικός}}}{p_{\text{ολική}} V_{\text{ολικός}}} = \frac{n_i RT_{\text{ολική}}}{n_{\text{ολικά}} RT_{\text{ολική}}}$$

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

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

Νόμος Dalton

Μίγματα ιδανικών αερίων και μερική πίεση



Παράδειγμα

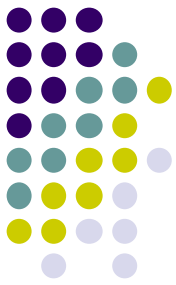
Ατμοσφαιρικός αέρας (80/20 : N₂/O₂)

Διαθέτετε για το μίγμα αυτό ένα δοχείο όγκου 1.50 m³ 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% CO₂, 6.0% O₂ και 80.0% N₂, σε θερμοκρασία 400 °F και πίεση 765.0 mm Hg. Υπολογίστε τη μερική πίεση κάθε συστατικού.

Λύση:

Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση (13.5): $p_i = P_{ολική} V_i$

Βάση: 1.000kg (ή lb) mol εκπεμπόμενων αερίων

Συστατικό	kg (ή lb) mol	p (mm Hg)
CO ₂	0.140	107.1
O ₂	0.060	45.9
N ₂	<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 :

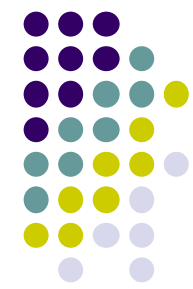
$$\text{Since } P_{O_2} = X_{O_2} \cdot P_{\text{total}} \text{ then } X_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{P_{\text{total}}}$$

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

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

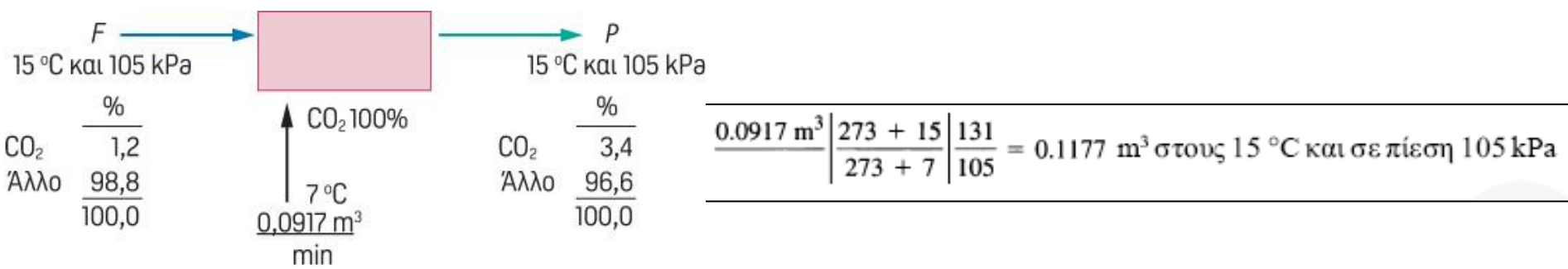
The diving gas should contain 2.5% O_2 for the partial pressure of O_2 to be the same at 8.38 atm as it is in air at 1.0 atm.

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, CO₂ από ένα δοχείο περνάει στο ρεύμα του αερίου. Η ανάλυση του αερίου δίνει 1.2 % CO₂ κατ'όγκο πριν την προσθήκη και 3.4 % CO₂ μετά την προσθήκη. Καθώς το CO₂ που έρεε απομακρυνόταν από το δοχείο, πέρασε από ένα ροόμετρο και βρέθηκε να ρέει με ρυθμό 0.0917 m³ /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:



Ισοζύγ. “άλλου συστατικού” (σε m³ στους 15°C και 105 kPa): $F(0.988) = P(0.966)$ (α)

Ισοζύγιο CO₂ (σε m³ στους 15 °C και 105 kPa): $F(0.012) + 0.1177 = P(0.034)$ (β)

Συνολικό ισοζύγιο (σε m³ στους 15 °C και 105 kPa): $F + 0.1177 = P$ (γ)

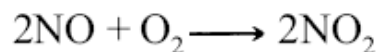
Παρατηρήστε ότι το “άλλο” είναι ένα συνδυατικό συστατικό. Επιλέξτε τις Εξισώσεις (α) και (γ) για επίλυση. Η λύση των Εξισώσεων (α) και (γ) δίνει

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



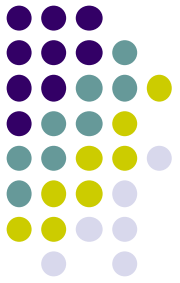
****13.42** Μία σημαντική πηγή εκπομπών αερίων ρύπων σε βενζινοκίνητες μηχανές αυτοκινήτων, που προκαλούν τον σχηματισμό αιθαλομίχλης, είναι τα οξειδία του αζώτου NO και NO₂. Σχηματίζονται τόσο μετά από τέλεια όσο και μετά από ατελή καύση, όπως φαίνεται παρακάτω. Στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν 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 O₂ είναι διαθέσιμο, τόσο περισσότερο NO σχηματίζεται. Ο χρόνος που απαιτείται για την διάσπαση του NO σε O₂ και N₂ 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 (NO₂) είναι σημαντικοί αέριοι ρυπαντές (μαζί αναφέρονται σαν NO_x), το NO₂ σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από την οξείδωση του NO.

Υποθέστε ότι συλλέγετε ένα δείγμα μίγματος NO-NO₂ (αφού έχετε απομακρύνει τα άλλα προϊόντα καύσης, όπως το N₂, το O₂ και το H₂O, με διάφορες τεχνικές διαχωρισμού) σε μία κυψέλη 100 cm³ στους 30 °C. Βέβαια, κάποια ποσότητα NO θα έχει οξειδωθεί προς NO₂



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 NO₂ συν NO και η πίεση που μετράται στην κυψέλη είναι 170 kPa, ποιο ποσοστό του NO + NO₂ βρίσκεται με την μορφή NO;

Λύση



Υπολογισμός R

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

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

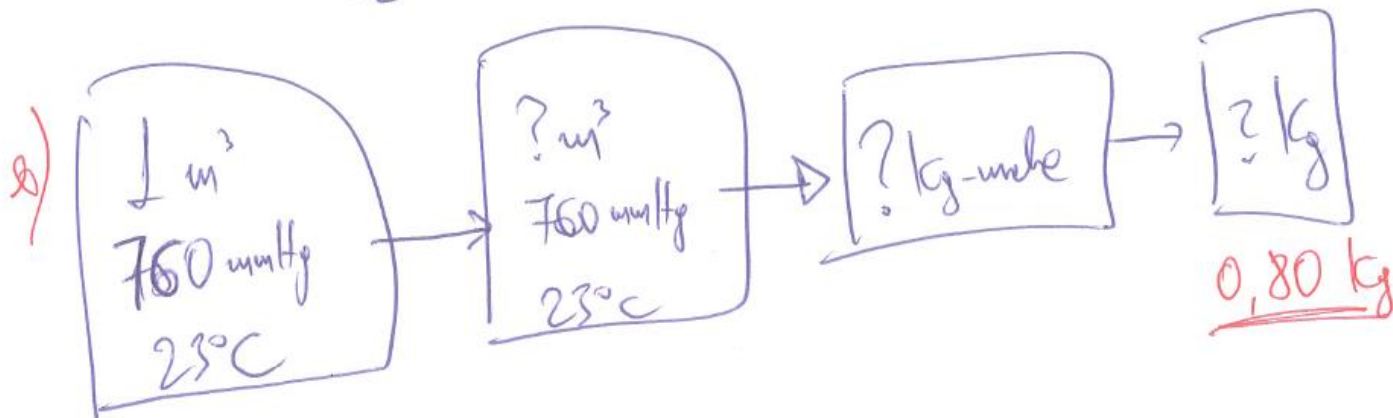
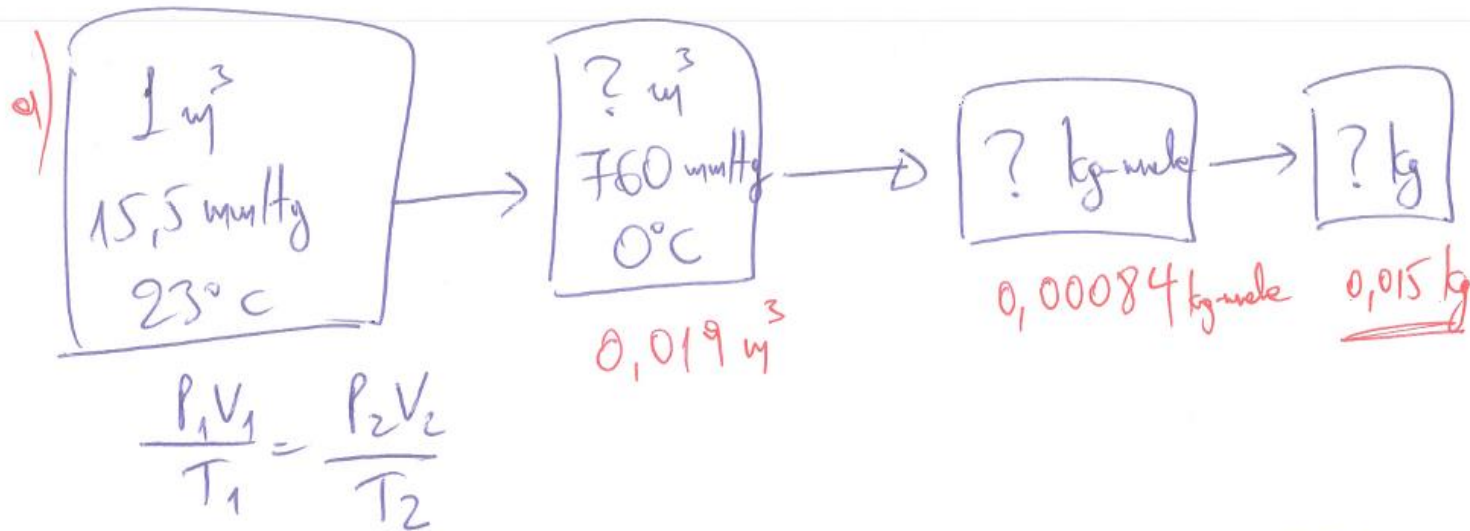
$\left. \begin{array}{l} \rightarrow x \text{ g NO} \\ \rightarrow (0,291 - x) \text{ g NO}_2 \end{array} \right\} \Rightarrow$

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

• Υπολογίστε με βάση 1 m^3 υδραερίου σε

a) 15 mmHg ή 23°C

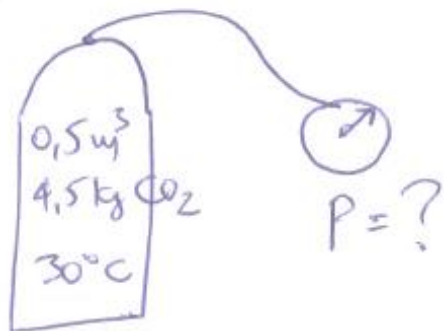
b) στην επιφάνεια της θαλάσσης





Πυροσβεστήρας όγκου $0,5 \text{ m}^3$. Πόση είναι

η ένδειξη 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 ταυτόχρονα θα δείχνει $5,08 - 1 = \underline{\underline{4,08 \text{ atm}}}$

Αλλιώς: Πυροσβεστήρας είναι (δευτερεύουσα)
γέφυρα όταν η ταυτόχρονη πίεση
είναι 4 atm.

Πόσα kg CO₂ πρέπει να προστεθούν!