

4.1 Βασικές έννοιες για τους χημικούς υπολογισμούς

Το mol: μονάδα ποσότητας ουσίας στο S.I.

- Το mol είναι μονάδα ποσότητας ουσίας στο Διεθνές Σύστημα μονάδων (S.I.) και ορίζεται ως η ποσότητα της ύλης που περιέχει τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσος είναι ο αριθμός των ατόμων που υπάρχουν σε 12 g του ^{12}C .

Ο αριθμός των ατόμων που περιέχονται σε 12 g του ^{12}C ονομάζεται **αριθμός Avogadro (N_A)** και υπολογίσθηκε με πειραματικές μεθόδους και με μεγάλη προσέγγιση ίσος με $6,02 \cdot 10^{23}$. Δηλαδή,

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Με αυτές τις σκέψεις καταλήγουμε:

1 mol είναι η ποσότητα μιας ουσίας που περιέχει N_A οντότητες.

Με τον όρο οντότητες εννοούμε άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια, αυγά

➤ Ο αριθμός Avogadro εκφράζει τον αριθμό των ατόμων οποιουδήποτε στοιχείου που περιέχονται σε μάζα τόσων γραμμαρίων όσο είναι η σχετική ατομική μάζα του. Δηλαδή,

1 mol ατόμων περιέχει N_A άτομα και ζυγίζει A_r g

π.χ. 1 mol ατόμων O περιέχει $6,02 \cdot 10^{23}$ άτομα και ζυγίζει 16 g ($A_{rO}=16$)
και 1 mol ατόμων Fe περιέχει $6,02 \cdot 10^{23}$ άτομα και ζυγίζει 56g ($A_{rFe}=56$)

➤ Ο αριθμός Avogadro εκφράζει τον αριθμό των μορίων στοιχείου χημικής ένωσης που περιέχονται σε μάζα τόσων γραμμαρίων όσο είναι η σχετική μοριακή μάζα τους. Έτσι, έχουμε:

1 mol μορίων περιέχει N_A μόρια και ζυγίζει M_r g

π.χ. 1 mol μορίων N_2 περιέχει $6,02 \cdot 10^{23}$ μόρια και ζυγίζει 28 g ($M_r = 28$)
και 1 mol μορίων H_2O περιέχει $6,02 \cdot 10^{23}$ μόρια και ζυγίζει 18 g ($M_r = 18$)

Παράδειγμα 4.3

Πόσο ζυγίζει το 1 άτομο υδρογόνου; ($A_{\text{rH}}=1$)

ΛΥΣΗ

Σύμφωνα με τον ορισμό του mol:

$$\frac{N_{\text{A}} \text{ άτομα H}}{1 \text{ άτομο}} \quad \text{ζυγίζουν} \quad = \quad \frac{1 \text{ g}}{m_{\text{ατόμου}}} \quad \text{άρα}$$

$$m_{\text{ατόμου}} = \frac{1 \text{ g}}{N_{\text{A}}} = 1,66 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

Εφαρμογή

Να υπολογιστεί η μάζα του ατόμου του υδραργύρου ($A_{\text{rHg}} = 200$).
($3,32 \cdot 10^{-22} \text{ g}$)

Παράδειγμα 4.4

Πόσο ζυγίζει το 1 μόριο του θειικού οξέος (H_2SO_4);
Δίνονται οι τιμές A_r : H: 1, S:32, O:16.

ΛΥΣΗ

$$M_r_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 16 = 98$$

Σύμφωνα με τον ορισμό του mol

$$\frac{N_A \text{ μόρια}}{1 \text{ μόριο}} \quad \underset{=}{\text{ζυγίζουν}} \quad \frac{98 \text{ g}}{m_{\text{μορίου}}} \quad \text{άρα}$$

$$m_{\text{μορίου}} = \frac{98 \text{ g}}{N_A} = 1,63 \cdot 10^{-22} \text{ g}$$

Εφαρμογή

Να υπολογιστεί η μάζα του μορίου της ζάχαρης ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$).

Δίνονται οι τιμές A_r : C: 12, H: 1, O: 16.

$$(5,67 \cdot 10^{-22} \text{ g})$$

Γραμμομοριακός όγκος (V_m)

- *Ίσοι όγκοι αερίων ή ατμών στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων. Ισχύει και το αντίστροφο, δηλαδή ίσοι αριθμοί μορίων ή ατμών που βρίσκονται στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης καταλαμβάνουν τον ίδιο όγκο.*

Όπως γνωρίζουμε, 1 mol χημικής ουσίας περιέχει σταθερό αριθμό μορίων, οποίος καθορίζεται από τον αριθμό Avogadro (N_A).

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα καταλήγουμε ότι το 1 *mol* οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο, ο οποίος ονομάζεται γραμμομοριακός όγκος.

- *Γραμμομοριακός όγκος (V_m) αερίου ονομάζεται ο όγκος που καταλαμβάνει το 1 mol αυτού, σε ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.*

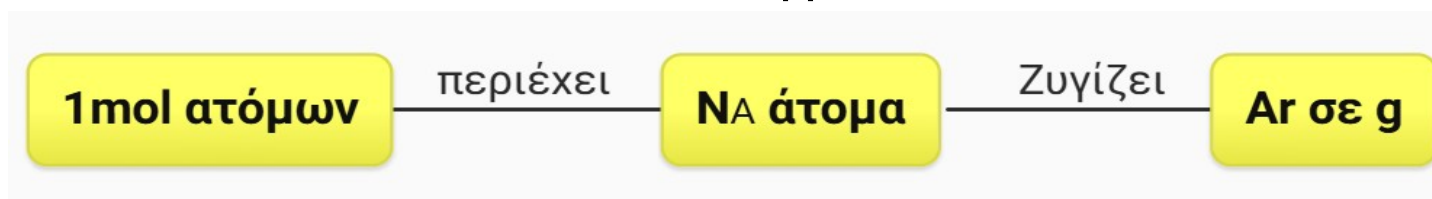
Σε πρότυπες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, STP, δηλαδή, σε θερμοκρασία 0 °C (ή 273 K) και πίεση 1 atm (760mmHg), ο γραμμομοριακός όγκος των αερίων βρέθηκε πειραματικά ίσος με 22,4 L.

Δηλαδή, $V_m = 22,4 \text{ L mol}^{-1}$ σε STP συνθήκες

Σχετική ατομική μάζα: $A_r = X \text{ amu}$

$$1 \text{ amu} = 1/12 m_{\text{ατόμου } ^{12}\text{C}} \approx m_p \approx m_n = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Απόλυτη ατομική μάζα σε g, ματόμου = $A_r \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
H



$$m_{\text{ατόμου}} = A_r / N_A \text{ δηλ.: } m_{\text{ατόμου}} = A_r / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,66 \cdot 10^{-24} A_r$$

1 mol (n) — περιέχει —> N_A μόρια — ζυγίζει —> $M_r \text{ gr}$ — καταλαμβάνει όγκο σε STP (για αέρια) —> 22,4L

STP (ή Κ.Σ) κανονικές συνθήκες πίεσης (P) και θερμοκρασίας (T), δηλ. σε $P = 1 \text{ atm}$ (760 mmHg) και $T = 0^\circ\text{C}$ (273K (βαθμούς Κέλβιν))

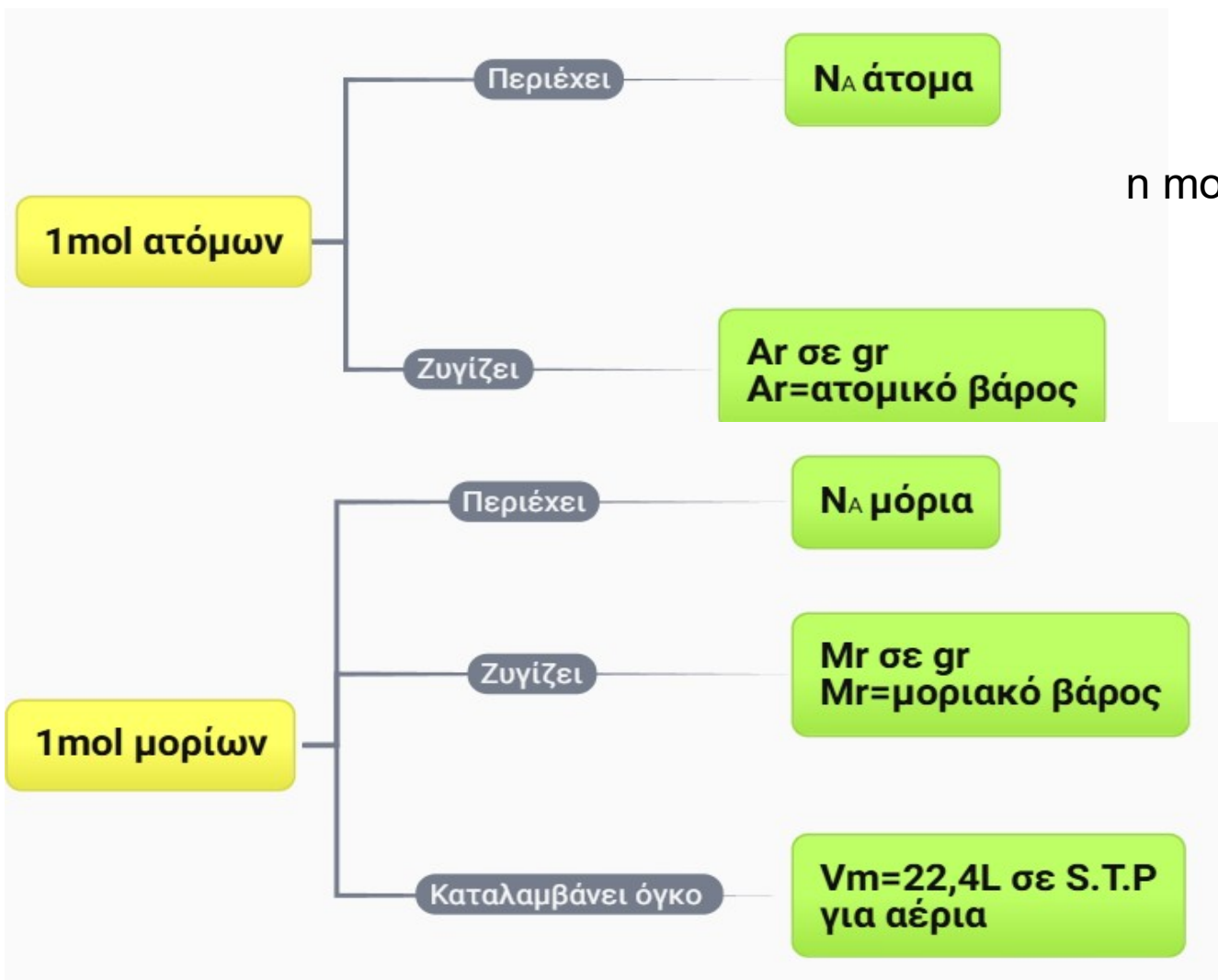
μετατροπή θερμοκρασίας: $^\circ\text{C}$ τότε $T = (\theta + 273) \text{ K}$

→ Σχέση mol(n) με μάζα

$$n = \frac{m}{M_r}$$

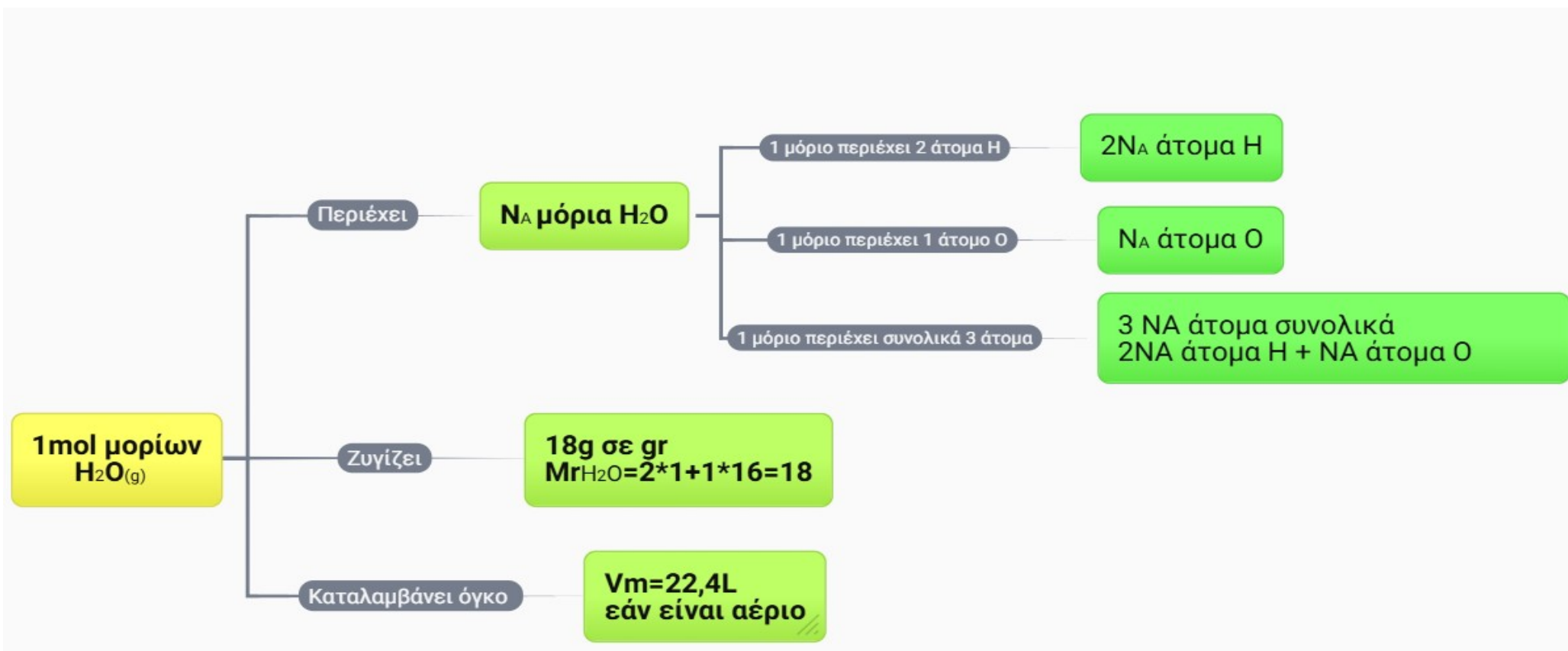
$$n = \frac{V \text{ σε L (ή ml)}}{22.4 \text{ L (ή 22400 ml)}}$$

, όπου n ο αριθμός των mol, m τα gr και M_r το μοριακό βάρος (3)



$$n \text{ mol ατόμων} = \frac{N_{\text{άτομα}}}{N_A} \equiv \frac{m}{A_r}$$

$$n \text{ mol μορίων} = \frac{N_{\text{μόρια}}}{N_A} \equiv \frac{m}{M_r} = \frac{V \text{ για αέρια}}{22,4L(STP)}$$



Παράδειγμα 4.5

Ποσότητα υδρόθειου (H_2S) ζυγίζει 170 g.

α. Πόσα mol είναι η ποσότητα αυτή;

β. Πόσο όγκο καταλαμβάνει η ποσότητα αυτή σε STP συνθήκες.

γ. Πόσα μόρια H_2S περιέχονται στην ποσότητα αυτή;

Δίνονται οι σχετικές ατομικές μάζες A_r : H:1, S:32.

Εφαρμογή

α. Πόσα μόρια αμμωνίας (NH_3) περιέχονται σε 1,12 L αυτής σε STP;

β. Πόσο ζυγίζουν τα $1,8066 \cdot 10^{24}$ μόρια NH_3 ;

Δίνονται οι τιμές των A_r : N: 14, H: 1.

(α. $0,05N_A$, β. 51 g)

Παράδειγμα 4.6

Να υπολογιστεί πόσα γραμμάρια οξυγόνου περιέχονται σε 16 g διοξειδίου του θείου (SO_2).

Δίνονται οι τιμές των A_r : S: 32, O: 16.

Εφαρμογή

Πόσα άτομα υδρογόνου (H) περιέχονται σε 68 g υδρόθειου (H_2S);

Δίνονται οι τιμές των A_r : S: 32, H: 1.

($4N_A$)

Παράδειγμα 4.7

Αέριο μίγμα περιέχει CO_2 και SO_2 . Το μίγμα αυτό ζυγίζει 7,6 g, ενώ ο όγκος του σε STP συνθήκες είναι 3,36 L.

α. Πόσα mol κάθε αερίου περιέχει το μίγμα;

β. Ποια είναι η μάζα του CO_2 στο μίγμα;

Δίνονται οι τιμές των A_r : C: 12, S: 32, O: 16.

Εφαρμογή

Αέριο μίγμα αποτελείται από διοξείδιο του θείου και υδρόθειο. Το μίγμα ζυγίζει 13,2 g και καταλαμβάνει όγκο 6,72 L σε STP.

α. Πόσα mol από κάθε αέριο περιέχονται στο μίγμα;

β. Ποια είναι η μάζα του κάθε συστατικού του μίγματος;

Δίνονται οι τιμές των A_r : S: 32, O: 16, H: 1.

(α. 0,1 - 0,2 β. 6,4 g - 6,8 g)

Ίσοι όγκοι αερίων σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας περιέχουν ίδιο αριθμό μορίων (mol). **Ανεξαρτήτως** του είδους του αερίου

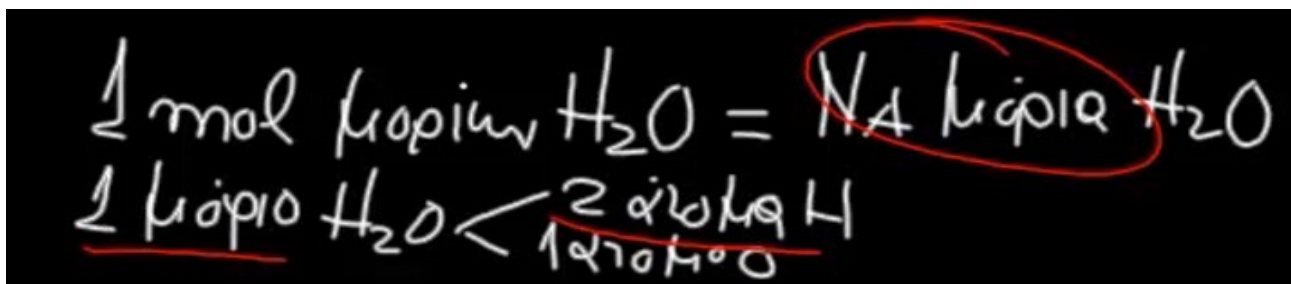
A) «5 L αερίου N_2 περιέχουν ίσα μόρια με 5 L αέριας NH_3 σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας».

(μονάδα 1)

(μονάδες 5)

(μονάδα 1)

(μονάδες 6)



2.2.

A) «3 L αερίου O_2 περιέχουν περισσότερα μόρια από 3 L αέριας NH_3 σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.»

Να χαρακτηρίσετε την πρόταση αυτή ως σωστή (Σ) ή λανθασμένη (Λ).

(μονάδα 1)

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας .

(μονάδες 5)

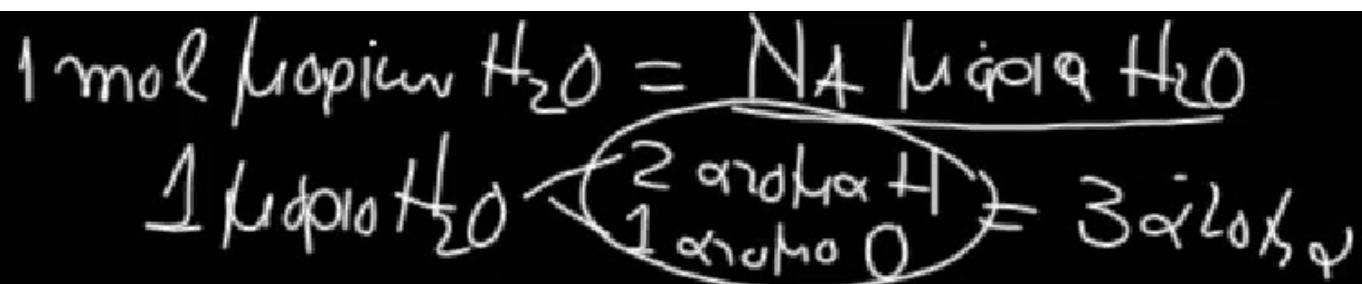
B) «1mol μορίων H_2O αποτελείται συνολικά από $3N_A$ άτομα.»

Να χαρακτηρίσετε την πρόταση αυτή ως σωστή (Σ) ή λανθασμένη (Λ).

(μονάδα 1)

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

(μονάδες 6)



2.1. Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές (**Σ**) και ποιες λανθασμένες (**Λ**);

α) 1 mol H_2O περιέχει $2N_A$ άτομα υδρογόνου.

β) Ένα μόριο H_2 έχει μάζα 2g (Δίνεται: $A_r(H)=1$).

γ) Το άτομο $^{35}_{17}Cl$ περιέχει 17 νετρόνια

$1 \text{ mol } H_2 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ g}$

(μονάδες 3)

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε όλες τις περιπτώσεις

(μονάδες 9)

4.2 Καταστατική εξίσωση των αερίων

Με συνδυασμό των νόμων:

1. **Boyle** $V \propto 1/P$

2. **Charles** $V \propto T$

3. **Avogadro** $V \propto n$

Καταλήγουμε, $V \propto (1/P)T n$

Η αναλογία αυτή μπορεί να μετατραπεί σε εξίσωση, αν εισάγουμε μια σταθερά R :

$$V = R (1/P)T n$$

Η σταθερά R ονομάζεται *παγκόσμια σταθερά των αερίων*.

Η σταθερά R μπορεί να υπολογιστεί παίρνοντας σαν βάση 1 mol ενός αερίου σε STP συνθήκες:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol} \cdot 273 \text{ K}} = \frac{0,082 \text{ atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Η παραπάνω σχέση, η οποία συνήθως γράφεται με τη μορφή:

$$P V = n R T$$

ονομάζεται *καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων*.

Η καταστατική εξίσωση εμπεριέχει τους τρεις νόμους (Boyle, Charles, Avogadro) και περιγράφει πλήρως τη συμπεριφορά (κατάσταση) ενός αερίου. Γι' αυτό ονομάζεται καταστατική εξίσωση.

➤ *Τα αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση, για οποιαδήποτε τιμή πίεσης και θερμοκρασίας, ονομάζονται ιδανικά ή τέλεια αέρια.*

καταστατική εξίσωση και για αέρια μίγματα:

$$P V = n_{\text{ολ}} R T \quad \text{όπου,}$$

$n_{\text{ολ}}$ ο συνολικός αριθμός mol του αερίου μίγματος

V ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο μίγμα και

P η ολική πίεση των αερίων του μίγματος.

Παράδειγμα 4.8

Σε δοχείο όγκου 15 L και θερμοκρασίας 27 °C, εισάγονται 4 mol αερίου A. Να υπολογιστεί η πίεση που ασκεί το αέριο στο δοχείο.

Εφαρμογή

Σε δοχείο όγκου 15 L και θερμοκρασίας 800 °C, εισάγονται $2N_A$ μόρια οξυγόνου. Πόση πίεση ασκεί το οξυγόνο στο δοχείο;
(11,73 atm)

Παράδειγμα 4.9

Πόση είναι η πυκνότητα του οξυγόνου (O_2) σε πίεση 8 atm και θερμοκρασία 273 °C. $A_{rO}=16$.

Εφαρμογή

Αέριο A έχει πυκνότητα 2,28 g/L σε θερμοκρασία 546 K και πίεση 6 atm. Ζητείται η σχετική μοριακή μάζα του A.
 $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K}$
(17)

4.3 Συγκέντρωση διαλύματος - Αραίωση, ανάμειξη διαλυμάτων

Συγκέντρωση ή μοριακότητα κατ' όγκο διαλύματος

➤ η μοριακότητα κατ' όγκο ή συγκέντρωση ή *Molarity*, εκφράζει τα *mol* διαλυμένης ουσίας που περιέχονται σε 1 L διαλύματος. Δηλαδή, έχουμε:

$$c = n / V$$

Όπου,

c = η συγκέντρωση του διαλύματος

n = ο αριθμός *mol* της διαλυμένης ουσίας και

V = ο όγκος του διαλύματος σε L.

Μονάδα της συγκέντρωσης είναι το mol L^{-1} ή M.

Για παράδειγμα, διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου συγκέντρωσης 1,5 M περιέχει 1,5 *mol* NaOH (60 g) σε 1 L (1000 mL) διαλύματος, όπως

- καταστατική εξίσωση: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$, όπου P πίεση, V όγκος, n αριθμός mol, $R = 0.082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, T θερμοκρασία.

➔ Καταστατική και μοριακότητα ($C \text{ mol/L}$)

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T \Rightarrow P = C \cdot R \cdot T$$

➔ Καταστατική και πυκνότητα

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P \cdot V = \frac{m}{M_r} \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \frac{m}{V M_r} R \cdot T \Rightarrow P = \frac{\rho}{M_r} R \cdot T$$

Παράδειγμα 4.10

Σε 300 mL διαλύματος περιέχονται 6 g υδροξειδίου του νατρίου (NaOH).
Να βρεθεί η συγκέντρωση (μοριακότητα κατ' όγκο) του διαλύματος.
Δίνονται οι τιμές των A_r : Na: 23, O: 16, H: 1.

Εφαρμογή

Πόσα γραμμάρια καθαρού νιτρικού οξέος περιέχονται σε 400 mL διαλύματος νιτρικού οξέος (HNO_3) συγκέντρωσης 2 M;
Δίνονται οι τιμές των A_r : H: 1, N: 14, O: 16.
(50,4 g)

Παράδειγμα 4.11

Να βρεθεί η % w/w (βάρος σε βάρος) περιεκτικότητα διαλύματος υδροχλωρίου συγκέντρωσης 0,2 M και πυκνότητας $1,05 \text{ g mL}^{-1}$, που περιέχει 14,6 g καθαρού υδροχλωρίου (HCl).
Δίνονται οι τιμές των A_r : H:1, Cl: 35,5.

Εφαρμογή

Να βρεθεί η συγκέντρωση (c) διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) όγκου 500 mL, περιεκτικότητας 8% w/w και πυκνότητας $1,07 \text{ g/mL}$. Δίνονται οι τιμές των A_r : Na: 23, O: 16, H: 1.
(2,14 M)

Αραίωση διαλύματος

Όταν σε ένα διάλυμα προσθέσουμε νερό, η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας παραμένει σταθερή, ενώ ο όγκος του διαλύματος μεγαλώνει. Συνεπώς, το τελικό διάλυμα έχει μικρότερη συγκέντρωση από το αρχικό. Κατά την αραίωση ισχύει η σχέση:

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

όπου,

c_1 και V_1 η συγκέντρωση και ο όγκος του διαλύματος, αντίστοιχα, πριν την αραίωση και

c_2 και V_2 η συγκέντρωση και ο όγκος του διαλύματος, αντίστοιχα, μετά την αραίωση

Παράδειγμα 4.12

Σε διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) όγκου 400 mL συγκέντρωσης 2 M προσθέτουμε 1200 mL νερού. Να υπολογιστεί η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος. Θεωρούμε ότι κατά την ανάμειξη δεν έχουμε μεταβολή του όγκου.

Εφαρμογή

Πόσα λίτρα νερού πρέπει να προστεθούν σε 3 L διαλύματος NaCl 1 M για να προκύψει διάλυμα NaCl 0,1 M;
(27 L)

Ανάμειξη διαλυμάτων

Όταν αναμείξουμε δύο ή περισσότερα διαλύματα που περιέχουν την ίδια διαλυμένη ουσία, τότε προκύπτει ένα διάλυμα το οποίο θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α. Η μάζα του τελικού διαλύματος θα είναι ίση με το άθροισμα των μαζών των διαλυμάτων που αναμείξαμε. Δηλαδή,

$$m_{\Delta\text{τελ}} = m_{\Delta 1} + m_{\Delta 2} + m_{\Delta 3} + \dots$$

β. Ο όγκος του τελικού διαλύματος σχεδόν πάντα θεωρούμε ότι είναι ίσος με το άθροισμα των όγκων των διαλυμάτων που αναμείξαμε.

Δηλαδή,

$$V_{\text{τελ}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

γ. Η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας στο τελικό διάλυμα θα είναι ίση με το άθροισμα των ποσοτήτων των διαλυμένων ουσιών που υπήρχαν στα αρχικά διαλύματα πριν από την ανάμειξη. Δηλαδή:

$$m_{\text{τελ}} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

$$\text{ή} \quad n_{\text{τελ}} = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

Κατά την ανάμειξη διαλυμάτων της ίδιας ουσίας ισχύει η σχέση:

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_{\text{τελ}} V_{\text{τελ}}$$

όπου,

c_1, c_2 και V_1, V_2 οι συγκεντρώσεις και οι όγκοι των αρχικών διαλυμάτων και $c_{\text{τελ}}$ και $V_{\text{τελ}}$ η συγκέντρωση και ο όγκος του τελικού διαλύματος, αντίστοιχα.

Είναι προφανές ότι, αν $c_1 > c_2$, τότε μετά την ανάμειξη θα έχουμε ότι $c_1 > c_{\text{τελ}} > c_2$.

Παράδειγμα 4.13

Αναμειγνύονται 3 L διαλύματος HCl 1 M με 7 L διαλύματος HCl 0,5 M. Να βρεθεί η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος.

Εφαρμογή

500 mL διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) περιεκτικότητας 8% w/v (κατ' όγκο) αναμειγνύονται με 1,5 L άλλου διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου συγκέντρωσης 0,8 M. Να υπολογιστεί η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος.

(1,1 M)