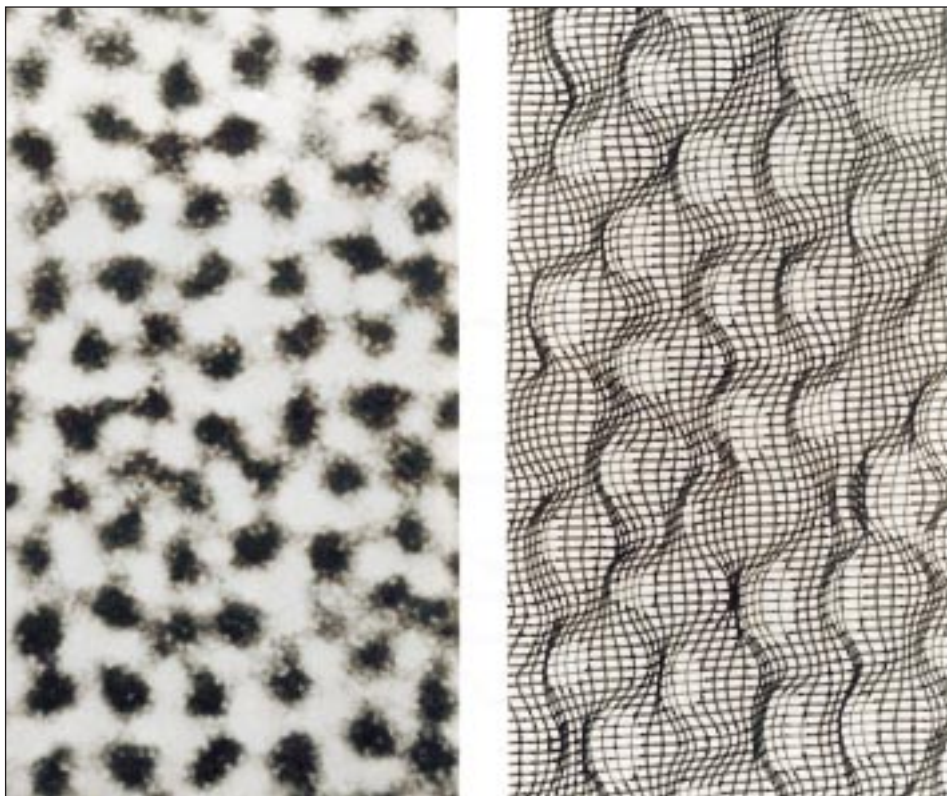


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Χημικοί υπολογισμοί

- Σχετική ατομική και μοριακή μάζα
- Αριθμός Avogadro – mol
- Μελέτη των ιδιοτήτων των αερίων – καταστατική εξίσωση
- Ο όγκος 1mol αερίου σε STP
- Στοιχειομετρία
- Παραδείγματα στοιχειομετρικών υπολογισμών
- Ερωτήσεις
- Ασκήσεις – προβλήματα
- Ανακεφαλαίωση



Τα άτομα όπως «φαίνονται» με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (αριστερά)
και μικροσκόπιο σάρωσης (δεξιά)

1.1 Σχετική ατομική και μοριακή μάζα

Είναι γνωστό από την προηγούμενη τάξη ότι τα υλικά σώματα αποτελούνται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό δομικών σωματιδίων (άτομα, μόρια, ιόντα) και ακόμη ότι καθένα από αυτά έχει απειροελάχιστο μέγεθος.

Σκεφθείτε ότι:

- Ένας κρύσταλλος ζάχαρης, που έχει μέγεθος όσο το κεφάλι μιας καρφίτσας, αποτελείται περίπου από 2.000.000.000.000.000.000 (δύο πεντάκις εκατομμύρια) μόρια, και ακόμη καθένα από τα μόρια αυτά αποτελείται από 12 άτομα C, από 22 άτομα H και από 11 άτομα O.
- Σε ένα γράμμα του βιβλίου σας περιέχονται περίπου ένα δισεκατομμύριο άτομα.

Τα άτομα λοιπόν, καθώς και τα μόρια¹ και τα ιόντα είναι απειροελάχιστα σωματίδια. Όμως τα δομικά αυτά σωματίδια της ύλης, όσο μικρά και αν είναι θα πρέπει να έχουν κάποια μάζα, διότι η μάζα κάθε σώματος είναι ίση με το άθροισμα των μαζών όλων των δομικών σωματιδίων του.

Τη μάζα του φορτίου ενός φορτηγού αυτοκινήτου τη μετράμε σε τόνους.

Η μάζα ενός ανθρώπου μετριέται σε Kg.

Τη μάζα ενός φύλλου χαρτιού τη μετράμε σε g.

Ποια μονάδα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε για τη μέτρηση της μάζας ενός ατόμου ή ενός μορίου;

Αντιλαμβανόμαστε ότι, ακόμη και το ένα χιλιοστό του γραμμαρίου (1mg) είναι τεράστια μονάδα για μια τέτοια μέτρηση.



Το άτομο δεν είναι ε-
νιαίο και συμπαγές.
Αποτελείται από α-
πλούστερα σωματί-
δια και αυτά από άλ-
λα, ακόμη μικρότερα.
Όμως οι απόψεις του
Δημοκρίτου για την
ύπαρξη στοιχειωδών
σωματιδίων ύλης ι-
σχύουν διαχρονικά.

¹ Τα μόρια των πολυμερών έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος από τα συνηθισμένα μόρια.

Οι χημικοί διάλεξαν για το σκοπό αυτό ένα από τα άτομα του άνθρακα, το ισότοπο που περιέχει στον πυρήνα του έξι πρωτόνια και έξι νετρόνια ($6+6=12$ νουκλεόνια). Το $1/12$ της μάζας αυτού του ατόμου C ($^{12}_6\text{C}$) το χρησιμοποίησαν ως μονάδα μέτρησης της μάζας των δομικών σωματιδίων της ύλης. Η μονάδα αυτή ονομάστηκε μονάδα ατομικής μάζας (a.m.u.) και συμβολίζεται με 1u. (Σχήμα 1.1)

Διαπιστώθηκε ότι:

- Η μάζα ενός ατόμου οξυγόνου είναι 16 φορές μεγαλύτερη από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$, ή 16u (Σχήμα 1.2)
- Το κάθε άτομο σιδήρου έχει 56 φορές μεγαλύτερη μάζα από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$, ή 56u
- Μάζα 1 ατόμου S=32u

Τους αριθμούς 16, 56 και 32, οι οποίοι εκφράζουν πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα του ατόμου του καθενός από τα παραπάνω στοιχεία από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$, τους ονομάζουμε σχετικές ατομικές μάζες (σύμβολο A_r) του O, του Fe, και του S αντίστοιχα.

Επιχειρώντας ένα ταξίδι προς το ... άτομο

Κόψτε ένα φύλλο χαρτιού στη μέση και πετάξτε το μισό. Κόψτε στη συνέχεια το άλλο μισό σε δύο ίσα μέρη και πετάξτε το ένα από τα δύο κομμάτια.

Αν επαναλάβετε αυτή την εργασία 25 περίπου φορές, θα καταλήξετε σε ένα κομμάτι που μόλις φαίνεται.

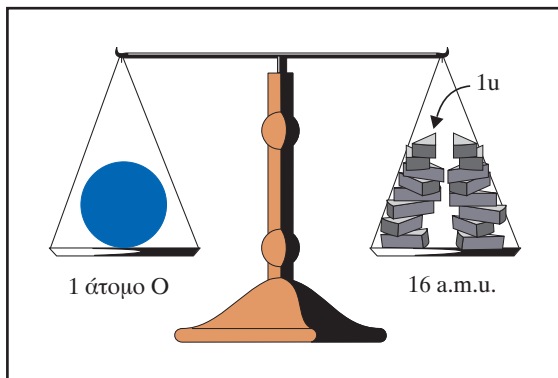
Για να καταλήξετε με τον τρόπο αυτό στο άτομο, θα πρέπει να επαναλάβετε αυτή την εργασία άλλες 50 φορές.

Το «ταξίδι» σας αυτό προς το άτομο έμεινε στη μέση. Όμως ποιος ξέρει; Ίσως κάποιοι από εσάς να φτάσουν κάποτε στο τέρμα.



Σχήμα 1.1

Προσομοίωση του $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$ (1 a.m.u.)



Σχήμα 1.2

Η μάζα ενός ατόμου οξυγόνου είναι ίση με 16u

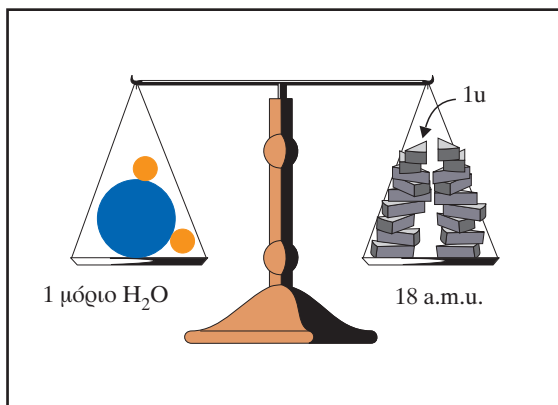
Σχετική ατομική μάζα (A_r) ενός στοιχείου ονομάζεται ο αριθμός που εκφράζει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα κάθε ατόμου του στοιχείου από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$.

Γνωρίζοντας τώρα τις σχετικές ατομικές μάζες του H και του O και ακόμη ότι το μόριο του νερού (H_2O) αποτελείται από δύο άτομα H και από ένα άτομο O, μπορούμε να υπολογίσουμε πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα ενός μορίου H_2O από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$.

Μάζα 1 μορίου H_2O =
 μάζα 2 ατόμων H + μάζα 1
 ατόμου O = $2 \cdot \text{μάζα 1 ατόμου H} + \text{μάζα 1 ατόμου O}$
 = $2u + 16u = 18u$ (Σχήμα 1.3).

Ομοίως βρίσκουμε ότι:

Μάζα 1 μορίου O_2 =
 μάζα 2 ατόμων οξυγόνου =
 $2 \cdot \text{μάζα 1 ατόμου O} = 2 \cdot 16u$
 $16u = 32u$



Σχήμα 1.3

Η μάζα ενός ατόμου νερού είναι ίση με $18u$

Βρήκαμε, λοιπόν, ότι:

- Η μάζα του κάθε μορίου του H_2O είναι 18 φορές μεγαλύτερη από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$.
- Η μάζα ενός μορίου O_2 είναι 32 φορές μεγαλύτερη από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$.

Τους αριθμούς 18 και 32 τους ονομάζουμε σχετικές μοριακές μάζες (σύμβολο M_r) του H_2O και του O_2 αντίστοιχα.

Σχετική μοριακή μάζα (M_r) ενός στοιχείου ή μίας χημικής ένωσης ονομάζεται ο αριθμός που εκφράζει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα ενός μορίου του στοιχείου ή της χημικής ένωσης από το $1/12$ της μάζας του ατόμου $^{12}_6\text{C}$.

Είναι εύκολο να υπολογίσουμε τις σχετικές μοριακές μάζες (M_r) των χημικών ουσιών, αν γνωρίζουμε τους μοριακούς των τύπους και τις σχετικές ατομικές μάζες (A_r) των στοιχείων από τα οποία αποτελούνται.

Παραδείγματα

$$M_r(\text{P}_4) = 4 \cdot A_r(\text{P}) = 4 \cdot 31 = 124$$

$$\begin{aligned} M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = \\ &= 2 + 32 + 64 = 98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= 12 \cdot 12 + 22 \cdot 1 + 11 \cdot 16 = \\ &= 144 + 22 + 176 = 342 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) &= 2 \cdot 27 + 3 \cdot 32 + 12 \cdot 16 = \\ &= 54 + 96 + 192 = 342 \end{aligned}$$

Η μάζα του ατόμου ενός στοιχείου ονομάζεται ατομική μάζα.

Η μάζα του μορίου ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης ονομάζεται μοριακή μάζα.

Οι ατομικές και οι μοριακές μάζες έχουν διαστάσεις μάζας και μετρούνται συνήθως σε a.m.u.

1 a.m.u. είναι το $1/12$ της μάζας του ατόμου του $^{12}_6\text{C}$.

1.2 Αριθμός Avogadro – mol

Η σχετική ατομική μάζα του C είναι 12. Σε 12g C περιέχεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός ατόμων C.

Η σχετική ατομική μάζα του O είναι 16. Τα 16g O αποτελούνται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων O.

Γενικά, ο αριθμός των ατόμων ενός στοιχείου που περιέχονται σε τόσα g του στοιχείου αυτού όση είναι η σχετική ατομική του μάζα έχει την ίδια τιμή για όλα τα στοιχεία. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται σταθερά Avogadro (σύμβολο N_A).



Amerio Avogadro
1777-1856

Βρέθηκε ότι:

$$N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$$

Ομοίως η σταθερά Avogadro εκφράζει το πλήθος των μορίων που περιέχονται σε τόσα g ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης όση είναι η σχετική μοριακή μάζα αυτού του στοιχείου ή της χημικής ένωσης. Έτσι:

Σε 32g O_2 , που είναι μάζα τόσων g όση η σχετική μοριακή μάζα του O_2 , περιέχονται $6 \cdot 10^{23}$ μόρια O_2 .

Σε 18g H_2O περιέχονται $6 \cdot 10^{23}$ μόρια H_2O , αλλά και:

Τα $6 \cdot 10^{23}$ μόρια H_2SO_4 έχουν μάζα 98g.

Ένα πλήθος $6 \cdot 10^{23}$ ατόμων O αποτελούν 1mol ατόμων O. Ομοίως, $6 \cdot 10^{23}$ μόρια H_2O αποτελούν 1mol μορίων H_2O , και $6 \cdot 10^{23}$ ιόντα SO_4^{2-} αποτελούν 1mol ιόντων SO_4^{2-} .

Γενικά, ορίζουμε ως:

$$1\text{mol ατόμων} = N_A \text{ άτομα}$$

$$1\text{mol μορίων} = N_A \text{ μόρια}$$

$$1\text{mol ιόντων} = N_A \text{ ιόντα}$$

Συνεπώς:

1mol ατόμων C αποτελείται από N_A άτομα C και έχει μάζα 12g.

1mol μορίων N_2 αποτελείται από N_A μόρια N_2 και έχει μάζα 28g.

1mol μορίων H_2SO_4 αποτελείται από N_A μόρια και έχει μάζα 98g.

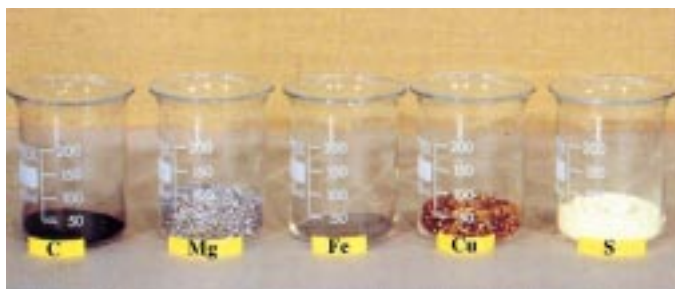
1mol SO_4^{2-} αποτελείται από N_A ιόντα και έχει μάζα $(32+4 \cdot 16)g = 96g$.

Αυτός ο κόσμος ο μικρός, ο Μέγας.

Σκεφτείτε ότι:

Αν το κάθε άτομο λευκόχρυσου στοίχιζε μία δραχμή:

- θα έπρεπε να δουλεύουν πέντε εκατομμύρια Έλληνες
- επί δέκα ώρες την ημέρα
- με ωριαία αμοιβή 2000 δραχ.
- επί 20 δισεκατομμύρια χρόνια, προκειμένου να αποκτήσουν 1mol ατόμων λευκόχρυσου.



Εικόνα 1.1

Κάθε ποτήρι περιέχει ένα mol ατόμων



Εικόνα 1.2

Κάθε ποτήρι περιέχει ένα mol χημικής ένωσης

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε εύκολα τον αριθμό των μορίων που περιέχονται σε ορισμένα mol μορίων αλλά και τη μάζα αυτών των mol.

Παραδείγματα**1. Υπολογισμός του αριθμού μορίων που περιέχονται σε 3mol N₂**

1mol N₂ αποτελείται από $6 \cdot 10^{23}$ μόρια N₂.

3mol N₂ αποτελούνται από χ μόρια N₂.

$$\frac{1}{3} = \frac{6 \cdot 10^{23}}{\chi} \Rightarrow \chi = 3 \cdot 6 \cdot 10^{23} = 18 \cdot 10^{23}.$$

2. Υπολογισμός αριθμού μορίων που περιέχονται σε 0,2mol HNO₃

1 mol HNO₃ αποτελείται από $6 \cdot 10^{23}$ μόρια HNO₃

0,2 mol HNO₃ αποτελούνται από ψ μόρια HNO₃

$$\frac{1}{0,2} = \frac{6 \cdot 10^{23}}{\psi} \Rightarrow \psi = 0,2 \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{23}.$$

Ισχύει, γενικά, $N = n \cdot N_A$, όπου n ο αριθμός mol του στοιχείου ή της χημικής ένωσης και N ο αριθμός των μορίων του.

3. Υπολογισμός της μάζας 0,5 mol H₂SO₄

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

1 mol H₂SO₄ έχει μάζα 98g

0,5 mol H₂SO₄ έχουν μάζα m

$$\frac{1}{0,5} = \frac{98\text{g}}{m} \Rightarrow m = 0,5 \cdot 98\text{g} = 49\text{g}$$

4. Υπολογισμός αριθμού mol 13,6g H₂S

$$M_r(\text{H}_2\text{S}) = 2 \cdot 1 + 32 = 34$$

1 mol H₂S έχει μάζα 34g

n mol H₂S έχουν μάζα 13,6g

$$\frac{1}{n} = \frac{34}{13,6} \Rightarrow n = \frac{13,6}{34} \Rightarrow n = 0,4.$$

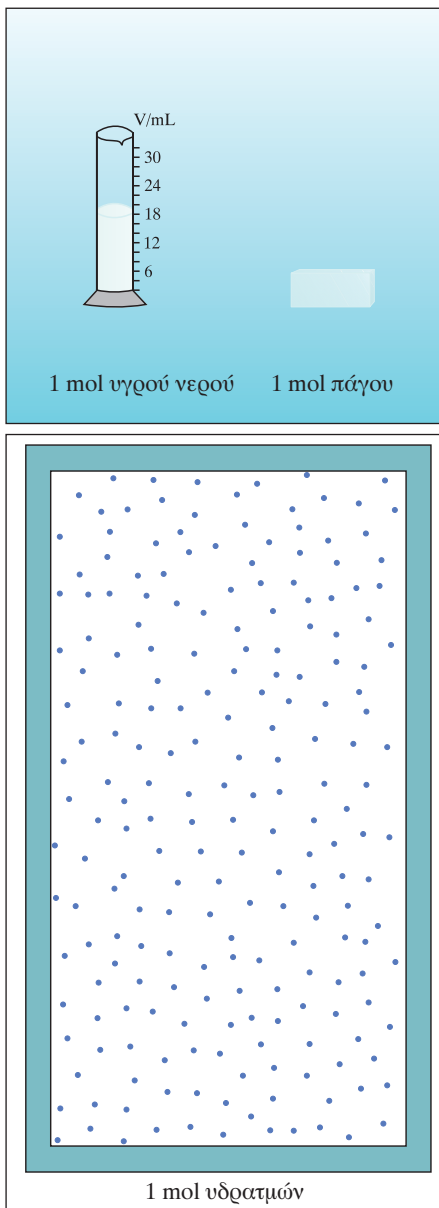
Γενικά, ισχύει: $m = n \cdot M_r \Leftrightarrow n = \frac{m}{M_r}$, όπου m η μάζα της χημικής ουσίας υπολογισμένη σε g, και n ο αριθμός mol αυτής.

1.3 Μελέτη των ιδιοτήτων των αερίων – καταστατική εξίσωση

Τα άτομα, τα μόρια και τα ιόντα αποτελούν, όπως μάθαμε, τις δομικές μονάδες της ύλης σε οποιαδήποτε φυσική κατάσταση (στερεά, υγρή ή αέρια).

Στα αέρια, σε αντίθεση με τα στερεά και με τα υγρά, οι δομικές μονάδες τους, συνήθως τα μόρια, βρίσκονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους σε σχέση με το μέγεθός τους. Σχεδόν όλος ο όγκος που καταλαμβάνει ένα αέριο είναι κενός χώρος. Σκεφτείτε ότι 1mol H_2O (=18g) σε υγρή κατάσταση έχει όγκο 18mL, ενώ η ίδια ποσότητα νερού σε μορφή υδρατμών μπορεί να καταλαμβάνει όγκο 50.000mL, 100.000mL ή και πολύ μεγαλύτερο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας των υδρατμών. Έτσι εξηγείται γιατί ο όγκος ενός αερίου μπορεί να μειωθεί σχετικά εύκολα, αν το συμπιέσουμε. Στην περίπτωση αυτή μειώνονται οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων του.

Θα πρέπει ακόμη να γνωρίζουμε ότι τα μόρια των αερίων βρίσκονται σε μια συνεχή κίνηση, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται συνεχώς συγκρούσεις τόσο μεταξύ τους όσο και μεταξύ αυτών και των τοιχωμάτων του δοχείου. Αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκούνται στα μόρια κατά τη στιγμή των συγκρούσεων είναι η μεταβολή της ταχύτητάς τους.

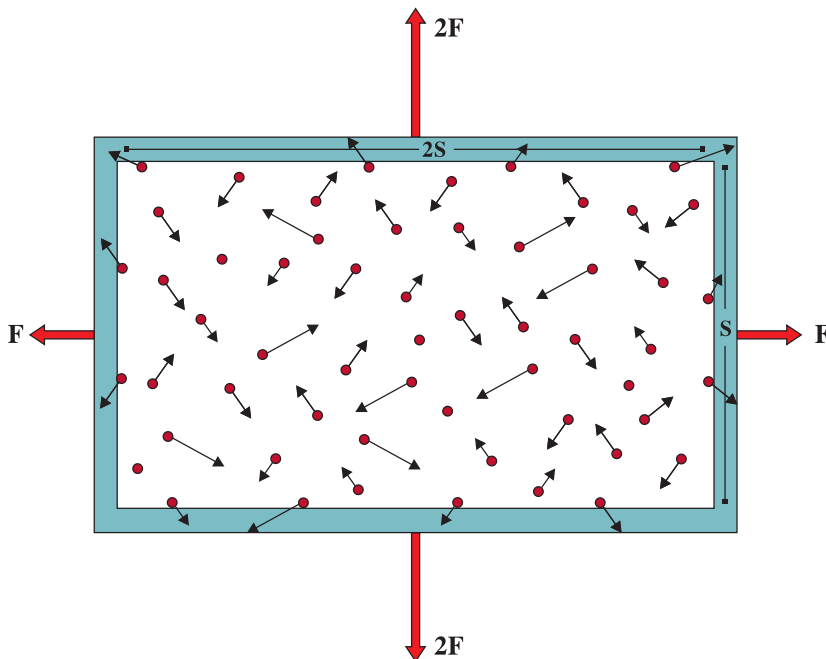


Σχήμα 1.4

Σχηματική αναπαράσταση του όγκου που καταλαμβάνει 1 mol νερού στις τρεις φυσικές καταστάσεις

Συνεπώς, η ταχύτητα ενός μορίου δεν παραμένει συνεχώς σταθερή, αλλά και όλα τα μόρια του αερίου σε μια χρονική στιγμή δεν έχουν την ίδια ταχύτητα. Είναι, όμως, σημαντικό να γνωρίζουμε ότι η μέση τιμή (μέσος όρος) των ταχυτήτων των μορίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και αυξάνεται με την αύξηση αυτής.

Στα τοιχώματα, τέλος, του δοχείου ασκούνται δυνάμεις εξαιτίας των συγκρούσεων των μορίων του αερίου με αυτά.



Σχήμα 1.5

Στα τοιχώματα του δοχείου ασκούνται δυνάμεις εξαιτίας των συγκρούσεων των μορίων του αερίου με αυτά.

Αποτέλεσμα των δυνάμεων αυτών είναι να δέχεται κάθε τοίχωμα πίεση, η οποία ισούται με το πηλίκο της συνισταμένης των δυνάμεων που ασκούν τα μόρια στο κάθε τοίχωμα του δοχείου προς την επιφάνεια του τοιχώματος αυτού.

$$P = \frac{F}{S}$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι η πίεση P εκφράζει τη δύναμη που ασκούν τα μόρια του αερίου στη μονάδα επιφάνειας κάθε τοιχώματος.

Στο σύστημα S.I. η μονάδα πίεσης είναι το 1N/m^2 .

Είναι, τώρα, εύκολο να αντιληφθούμε ότι η τιμή της πίεσης P εξαρτάται:

α) από τον αριθμό των μορίων που συγκρούονται ανά μονάδα χρόνου με το κάθε m^2 των τοιχωμάτων, και

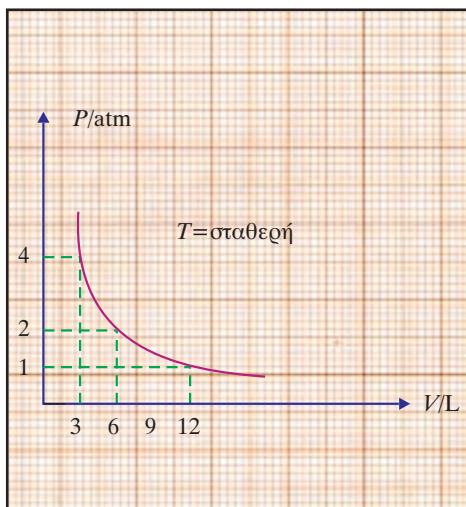
β) από τις ταχύτητες με τις οποίες χτυπούν τα μόρια του αερίου πάνω στα τοιχώματα του δοχείου.

Ας θεωρήσουμε τώρα ότι υποβάλουμε το αέριο στις παρακάτω μεταβολές:

I. Συμπιέζουμε το αέριο μέχρι να υποδιπλασιαστεί ο όγκος του, χωρίς όμως να μεταβληθεί η θερμοκρασία του.

Κατά τη μεταβολή αυτή ο ίδιος αριθμός μορίων περιορίζεται στο μισό όγκο ($V/2$). Αποτέλεσμα αυτής της “πύκνωσης” των μορίων είναι να πραγματοποιούνται διπλάσιες συγκρούσεις ανά μονάδα χρόνου με το κάθε m^2 του τοιχώματος, το οποίο δέχεται τώρα διπλάσια δύναμη, άρα και διπλάσια πίεση.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι στη μεταβολή αυτή, που ονομάζεται **ισοθερμη**, επειδή γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία, η πίεση του αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του.



Διάγραμμα 1.1

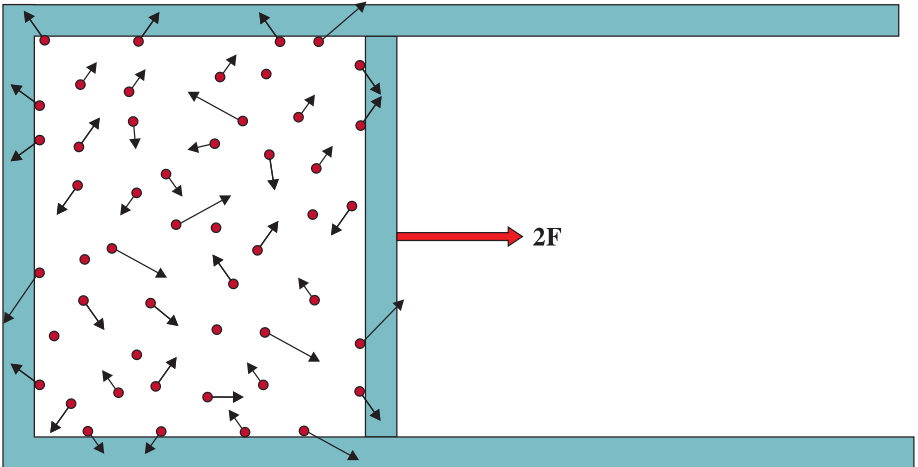
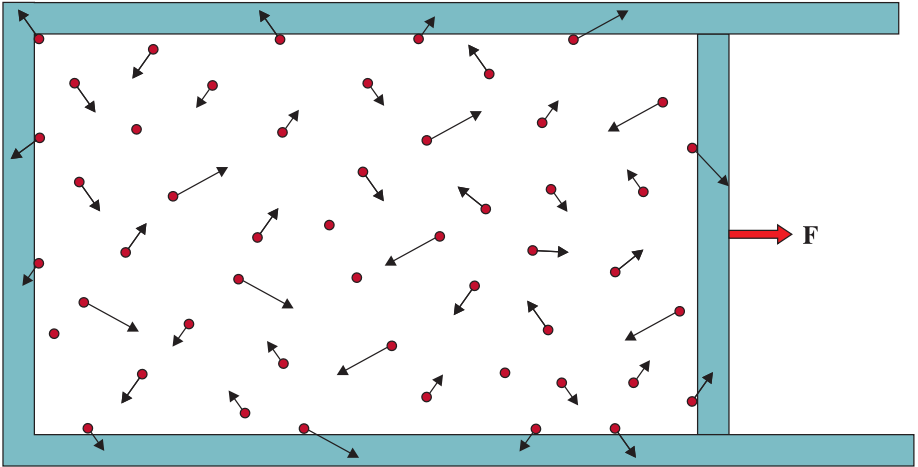
Η πίεση ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του

$$P = \frac{C_1}{V} \Leftrightarrow P \cdot V = C_1$$

Ο νόμος αυτός διατυπώθηκε το 1660 από τον Boyle μετά από πειραματικές μετρήσεις που έκανε σε πολλά αέρια.

Η σταθερά C_1 εξαρτάται από το πλήθος των μορίων του αερίου και από τη θερμοκρασία και όταν αυτά είναι σταθερά, ισχύει:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$



Σχήμα 1.6

Όταν το αέριο συμπιέζεται, αυξάνεται η πίεση, επειδή αυξάνεται ο αριθμός των μορίων ανά μονάδα όγκου που περιέχονται στο δοχείο.

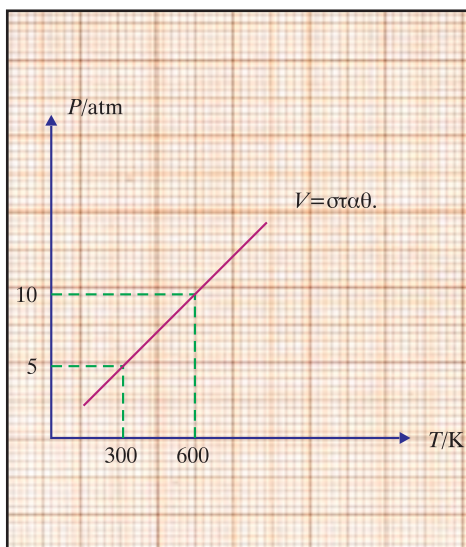
II. Αυξάνουμε τη θερμοκρασία του αερίου υπό σταθερό όγκο.

Όπως είδαμε, με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται και η μέση ταχύτητα των μορίων, με αποτέλεσμα:

α) να πραγματοποιούνται περισσότερες συγκρούσεις στη μονάδα χρόνου με τα τοιχώματα του δοχείου και

β) οι συγκρούσεις αυτές να είναι γενικά σφοδρότερες.

Αποτέλεσμα των περισσότερων και σφοδρότερων συγκρούσεων των μορίων του αερίου με τα τοιχώματα του δοχείου είναι να αυξάνεται η συνολική δύναμη F που δέχεται κάθε τοίχωμα από τα μόρια του αερίου, άρα και η πίεση P . Αποδεικνύεται ότι η πίεση είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας T ($T=273+\theta$) του αερίου.



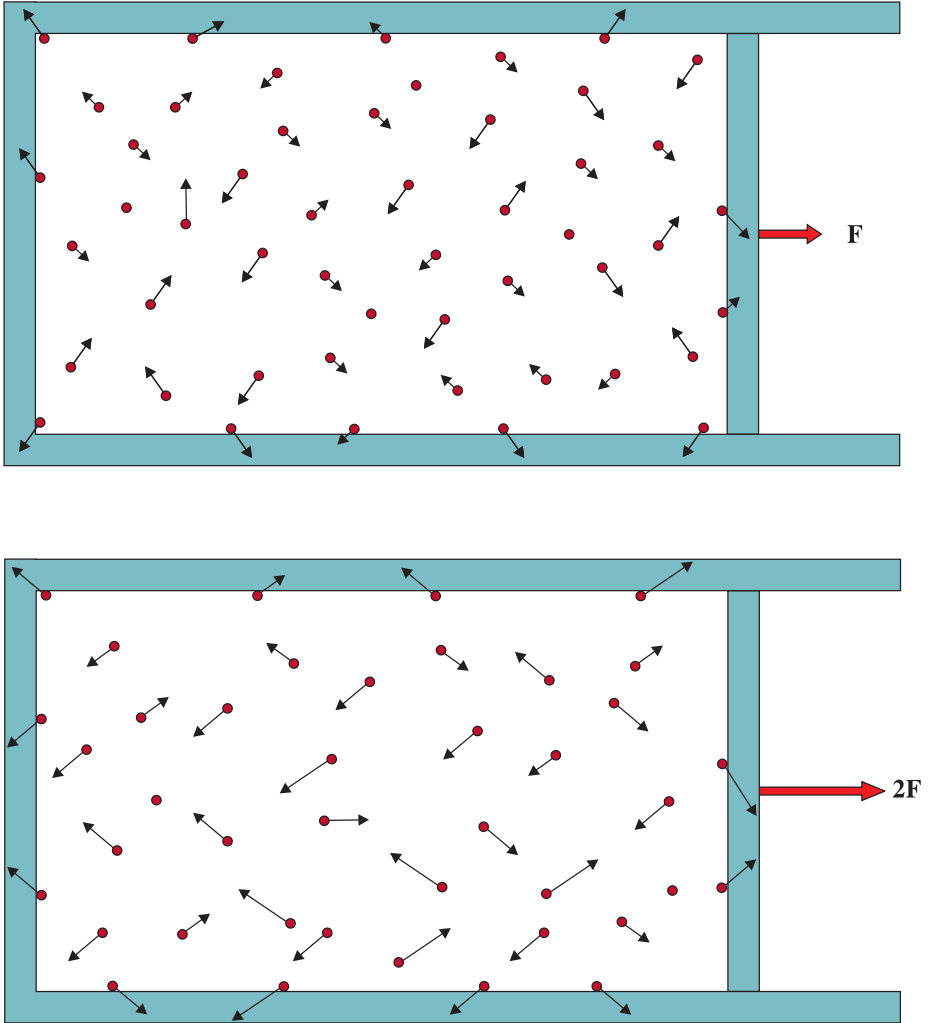
Διάγραμμα 1.2

Η πίεση ενός αερίου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας (T)

$$P = C_2 \cdot T \Leftrightarrow \frac{P}{T} = C_2$$

Η σταθερά C_2 εξαρτάται από τον όγκο και από τον αριθμό των μορίων του αερίου και όταν αυτά είναι σταθερά ισχύει:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

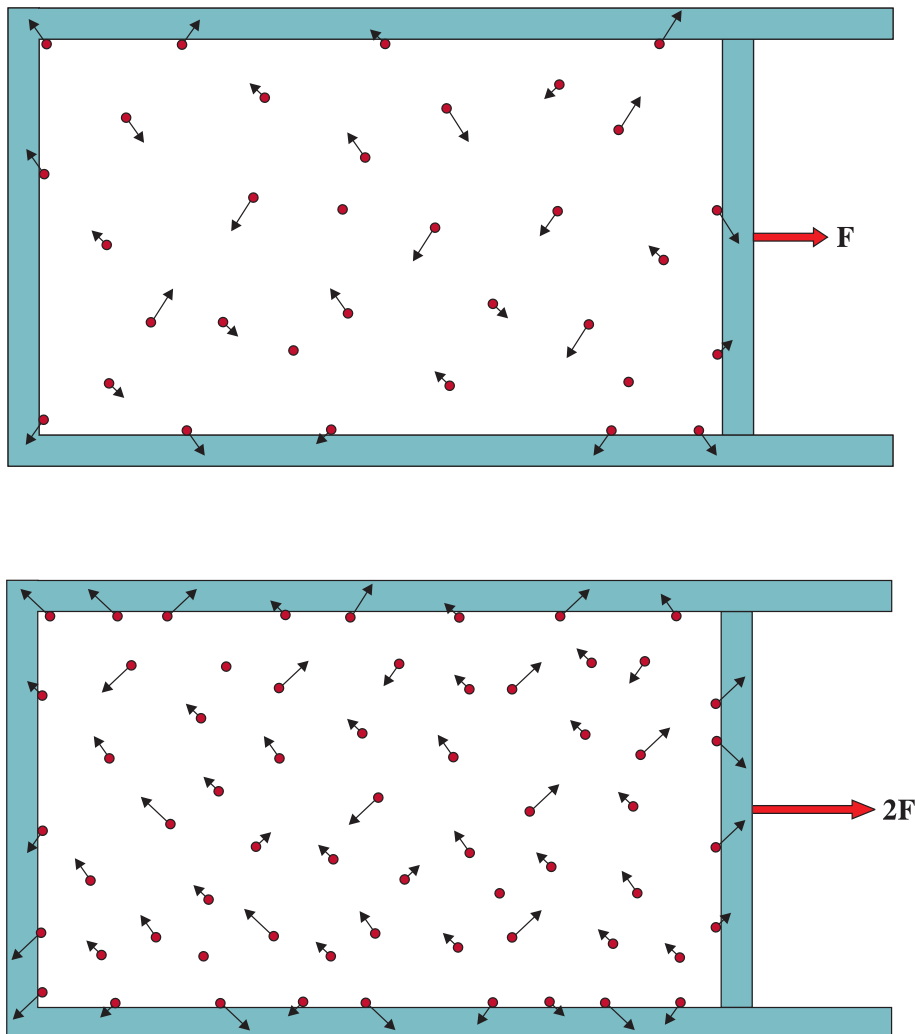


Σχήμα 1.7

Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η πίεση, επειδή αυξάνεται η μέση ταχύτητα των μορίων.

III. Διπλασιάζουμε τον αριθμό mol (n) του αερίου που περιέχεται στο δοχείο, υπό σταθερό όγκο και σταθερή θερμοκρασία.

Όπως έχουμε μάθει, σε κάθε mol χημικής ουσίας περιέχεται σταθερός αριθμός μορίων ($N_A = 6 \cdot 10^{23}$). Όταν, επομένως, διπλασιάζουμε



Σχήμα 1.8

Όσο περισσότερα μόρια περιέχονται στον ίδιο χώρο τόσο περισσότερες συγκρούσεις πραγματοποιούνται μεταξύ αυτών και των τοιχωμάτων του δοχείου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του αερίου

τον αριθμό των mol, διπλασιάζεται και ο αριθμός των μορίων που περιέχεται στο δοχείο. Αυτό έχει ως συνέπεια το διπλασιασμό του αριθμού των συγκρούσεων, με αποτέλεσμα το διπλασιασμό της πίεσης του αερίου (Σχ. 1.8).

$$\text{Όταν } V, T \text{ σταθερά, } P = C_3 \cdot n$$

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των τριών παραπάνω μεταβολών των αερίων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πίεση P των αερίων είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας T , ανάλογη του αριθμού mol (n) και αντιστρόφως ανάλογη του όγκου τους V , ενώ είναι ανεξάρτητη από τη φύση τους.

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

Η σχέση αυτή ονομάζεται καταστατική εξίσωση των αερίων.

Η σταθερά R ονομάζεται παγκόσμια σταθερά των αερίων και έχει για όλα τα αέρια την τιμή

$$R = 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Η τιμή αυτή, καθώς και οι μονάδες της σταθεράς R , μας δεσμεύουν να αντικαθιστούμε στην καταστατική εξίσωση των αερίων τον όγκο μετρημένο σε L, την πίεση σε atm και τη θερμοκρασία σε K.

Να θυμάστε ότι:

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2, \quad 1 \text{ L} = 1000 \text{ mL}, \quad T = 273 + \theta$$

1.4 Ο όγκος 1mol αερίου σε STP

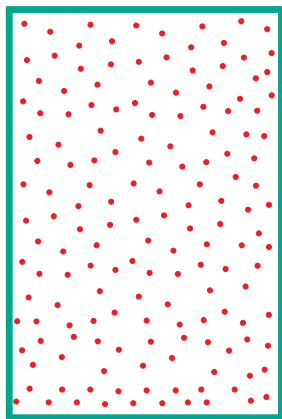
Ο όγκος που καταλαμβάνει ορισμένη ποσότητα ενός αερίου εξαρτάται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης στις οποίες γίνεται η μέτρηση. Πρότυπες συνθήκες (STP) για τα αέρια έχουμε, όταν $P=1\text{atm}$ και $\theta=0^0\text{C}$ (ή $T=273\text{K}$).

Για να υπολογίσουμε τον όγκο 1mol ενός αερίου V_m σε STP, αρκεί να αντικαταστήσουμε στην καταστατική εξίσωση των αερίων όπου: $n=1\text{mol}$, $P=1\text{atm}$ και $T=273\text{K}$, οπότε προκύπτει:

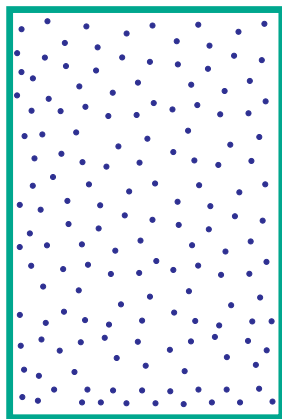
$$V_m = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1\text{mol} \cdot 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273\text{K}}{1\text{atm}} = 22,4\text{L σε STP}.$$

Συμπεπώς:

Ποσότητα ίση με 1mol οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει όγκο ίσο με 22,4L σε STP.



1 mol H_2
 $m = 2\text{g}$
 $N = 6 \cdot 10^{23}$ μόρια
 $P = 1\text{atm}$
 $T = 273\text{K}$
 $V = 22,4\text{L}$



1 mol O_2
 $m = 32\text{g}$
 $N = 6 \cdot 10^{23}$ μόρια
 $P = 1\text{atm}$
 $T = 273\text{K}$
 $V = 22,4\text{L}$

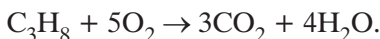
Σχήμα 1.9

Ποσότητα ίση με 1mol οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει όγκο ίσο με 22,4L σε STP.

1.5 Στοιχειομετρία

Το υγραέριο είναι ένα καύσιμο μείγμα που αποτελείται κυρίως από τους υδρογονάνθρακες προπάνιο (C_3H_8) και βουτάνιο (C_4H_{10}). Οι δύο αυτοί υδρογονάνθρακες σε συνηθισμένη θερμοκρασία και πίεση (περίπου $25\text{ }^\circ\text{C}$ και 1 atm) βρίσκονται σε αέρια κατάσταση, αλλά υδροποιούνται εύκολα με απλή συμπίεση. Οι γνωστές μας φιάλες και τα φιαλίδια υγραερίου περιέχουν τους δύο αυτούς υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή. Όταν λειτουργεί μία συσκευή υγραερίου, αντιδρά ένα μέρος από τους αέριους αυτούς υδρογονάνθρακες με οξυγόνο του αέρα και καίγεται. Από την καύση αυτή παράγονται διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ συγχρόνως ελευθερώνεται θερμότητα, την οποία εκμεταλλευόμαστε για τις διάφορες ανάγκες μας.

Η αντίδραση που πραγματοποιείται κατά την καύση του προπανίου αποδίδεται με τη χημική εξίσωση:



Η χημική αυτή εξίσωση μας πληροφορεί κατ' αρχήν για το είδος των χημικών ουσιών οι οποίες αντέδρασαν και παράχθηκαν από την καύση.

Πέρα όμως από την πληροφορία αυτή μας ενδιαφέρει στην πράξη και η απάντηση σε ορισμένα ερωτήματα όπως τα παρακάτω:

- α) Πόσο οξυγόνο καταναλώνεται, όταν καίγεται ορισμένη ποσότητα (π.χ. 50 g) προπανίου;
- β) Πόσος όγκος ή πόση μάζα CO_2 θα παραχθεί από αυτή την καύση;
- γ) Αν ζυγίσουμε την ποσότητα των υδρατμών που παράχθηκε, πώς μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα του προπανίου που αντέδρασε;

Γενικά, οι υπολογισμοί των ποσοτήτων των χημικών ουσιών που συμμετέχουν σε μία χημική αντίδραση, όταν γνωρίζουμε την ποσότητα ενός αντιδρώντος ή ενός προϊόντος, ονομάζονται στοιχειομετρικοί υπολογισμοί.

Οι στοιχειομετρικοί υπολογισμοί βασίζονται σε πληροφορίες ποσοτικής φύσεως που μας δίνονται από τη χημική εξίσωση, η οποία αποδίδει μία χημική αντίδραση. Θυμηθείτε ότι οι αριθμητικοί συντελεστές μιας χημικής εξίσωσης εκφράζουν την αναλογία mol με την οποία αντιδρούν και παράγονται οι χημικές ουσίες της αντίδρασης.

1.6 Παραδείγματα στοιχειομετρικών υπολογισμών

1. Πόσος όγκος O_2 σε STP απαιτείται για την πλήρη καύση 13,2g προπανίου και πόση είναι η μάζα του CO_2 που θα παραχθεί από αυτή την καύση;

Λύση

$$M_r(C_3H_8) = 3 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 36 + 8 = 44$$

$$M_r(CO_2) = 1 \cdot 12 + 2 \cdot 16 = 12 + 32 = 44$$

$$1 \text{ mol } C_3H_8 \text{ έχει μάζα } 44 \text{ g}$$

$$n \text{ mol } C_3H_8 \text{ έχουν μάζα } 13,2 \text{ g}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{44}{13,2} \Rightarrow n = 0,3$$



$$1 \text{ mol} \quad 5 \text{ mol} \quad 3 \text{ mol}$$

$$0,3 \text{ mol} \quad \chi \text{ mol} \quad \psi \text{ mol}$$

$$\frac{1}{0,3} = \frac{5}{\chi} = \frac{3}{\psi} \Rightarrow \chi = 1,5, \quad \psi = 0,9$$

$$V(O_2) = 1,5 \cdot 22,4 \text{ L} = 33,6 \text{ L}$$

$$m(CO_2) = 0,9 \cdot 44 \text{ g} = 39,6 \text{ g}$$

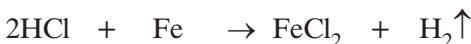
2. Σε ένα διάλυμα HCl όγκου $V = 400 \text{ mL}$ και συγκέντρωσης $c = 0,5 \text{ M}$ προσθέσαμε ρινίσματα σιδήρου, μέχρι να αντιδράσει όλη η ποσότητα του HCl , σύμφωνα με τη χημική εξίσωση: $2HCl + Fe \rightarrow FeCl_2 + H_2 \uparrow$. Υπολογίστε:

α) τη μάζα του Fe που αντέδρασε και β) τον όγκο του H_2 σε STP που παράχθηκε κατά την αντίδραση αυτή.

Λύση

Σε 1000 mL διαλύματος περιέχονται 0,5 mol HCl

$$\frac{\text{Σε } 400 \text{ mL} \gg \gg n \text{ mol } HCl}{1000} = \frac{0,5}{n} \Rightarrow n = \frac{0,5 \cdot 400}{1000} \Rightarrow n = 0,2$$



$$2 \text{ mol} \quad 1 \text{ mol} \quad 1 \text{ mol}$$

$$0,2 \text{ mol} \quad \chi \text{ mol} \quad \psi \text{ mol}$$

$$\frac{2}{0,2} = \frac{1}{\chi} = \frac{1}{\psi} \Rightarrow \chi = 0,1, \quad \psi = 0,1$$

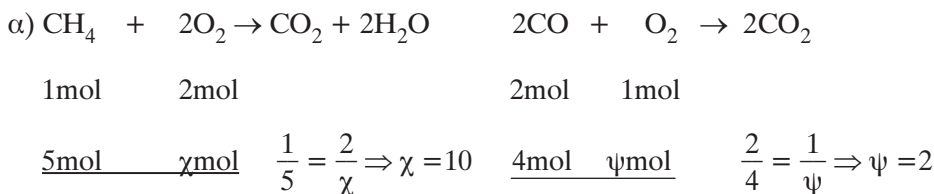
$$m(Fe) = 0,1 \cdot 56 \text{ g} = 5,6 \text{ g}$$

$$V(H_2) = 0,1 \cdot 22,4 \text{ L} = 2,24 \text{ L}$$

3. Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει 20% ν/ν O_2 , δηλαδή σε κάθε 100 όγκους αέρα περιέχονται 20 όγκοι O_2 . Ένα καύσιμο αέριο μείγμα αποτελείται από 5mol CH_4 και από 4mol CO . Υπολογίστε:

- α) τον όγκο του καθαρού οξυγόνου που απαιτείται για την καύση όλης της ποσότητας του μείγματος, και
 β) τον όγκο του ατμοσφαιρικού αέρα στον οποίο περιέχεται η απαιτούμενη ποσότητα O_2 γι' αυτή την καύση.

Λύση



Συνεπώς, απαιτούνται για την καύση του μείγματος

$$(10 + 2)\text{mol } O_2 = 12\text{mol } O_2$$

$$V(O_2) = 12 \cdot 22,4\text{L} \Rightarrow V(O_2) = 268,8\text{L}.$$

β) 100L αέρα περιέχουν 20L O_2

$$\omega\text{L αέρα περιέχουν } 268,8\text{L } O_2 \quad \frac{100}{\omega} = \frac{20}{268,8} \Rightarrow \omega = 1344 \Rightarrow V(\text{αέρα}) = 1344\text{L}.$$

1.7 Ερωτήσεις

- Σε μια σταγόνα νερού εκτιμάται ότι περιέχονται:
α. 1000 μόρια γ. 1.000.000 μόρια
β. $3 \cdot 10^{21}$ μόρια δ. 18 μόρια
 - Σχετική ατομική μάζα ενός
..... ονομάζεται
.....
.....
.....
 - Σχετική μοριακή μάζα ενός ...
..... ή
ονομάζεται
.....
.....
.....
 - 1mol μορίων οξυγόνου αποτελείται από μόρια ή από άτομα και έχει μάζαg.
 - Εξηγήστε για ποιο λόγο 1mol ατόμων C έχει μικρότερη μάζα από 1mol ατόμων Fe.
 - Σε 1g υδρογόνου περιέχονται χ άτομα H.
Σε 1g H_2O περιέχονται ψ μόρια H_2O .
Σε 1g CH_2O περιέχονται ω μόρια CH_2O .
Σε 1g υδρογόνου περιέχονται z μόρια H_2 .
Σε 1g CH_2O_2 περιέχονται φ
 - μόρια CH_2O_2 .
Να διατάξετε τους αριθμούς χ, ψ, ω, z, φ με αύξουσα σειρά.
 - Εξετάστε αν οι παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ή λανθασμένες.
α) Η μάζα ενός ατόμου $^{12}_6C$ είναι 12g.
β) Η μάζα δύο ατόμων H είναι μικρότερη από τη μάζα ενός μορίου H_2O .
γ) Μάζα 3 μορίων O_2 = μάζα 2 μορίων O_3 .
 - Αντιστοιχίστε κάθε μοριακό τύπο της στήλης (I) με μία από τις τιμές των σχετικών μοριακών μαζών (M_r) της στήλης (II).
- | (I) | (II) |
|----------------|----------------------|
| Μοριακός τύπος | Σχετική μοριακή μάζα |
| O_2 | 46 |
| CO_2 | 32 |
| CH_2O_2 | 48 |
| O_3 | 62 |
| H_2CO_3 | 44 |
- Τι εκφράζει η σταθερά Avogadro και ποια είναι η τιμή της;
 - Η σχετική ατομική μάζα του N είναι 14

Ένα mol ατόμων N έχει μάζα και αποτελείται από άτομα, ενώ ένα mol μορίων N_2 έχει μάζα και αποτελείται από άτομα ή από μόρια.

11. Να αντιστοιχίσετε κάθε «στοιχείο» της στήλης (I) με ένα από τα «στοιχεία» της στήλης (II).

(I)	(II)
0,1 mol μορίων O_2	1,8g
0,1 mol ατόμων O	3,2g
0,1 mol μορίων H_2O	1,6g
0,1 mol μορίων CO_2	4,4g

12. Οι ταχύτητες των μορίων ενός αερίου μεταβάλλονται:

- μόνο όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία
- μόνο όταν το αέριο επιταχύνεται
- μόνο όταν ασκείται δύναμη στο αέριο
- σε κάθε περίπτωση.

13. Η πίεση που ασκούν τα αέρια οφείλεται

- σε δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων τους
- στη δύναμη που τους ασκούμε, όταν τα συμπιέζουμε
- στις δυνάμεις που ασκούν τα μόρια στα τοιχώματα του δοχείου
- στο ότι είναι συμπιεστά.

14. Η πίεση που δέχεται κάθε τοίχωμα του δοχείου μέσα στο οποίο βρίσκεται ένα αέριο δίνεται από τη σχέση $P = \frac{F}{S}$, όπου F η δύναμη που ασκούν τα μόρια του αερίου στα τοιχώματα του δοχείου και S η επιφάνεια του τοιχώματος.

Εξετάστε αν δύο τοιχώματα αυτού του δοχείου με διαφορετική επιφάνεια δέχονται την ίδια πίεση.

15. Η πίεση P που ασκεί ένα αέριο στο τοίχωμα ενός δοχείου δίνεται από τη σχέση $P = \dots\dots\dots$, όπου F η δύναμη $\dots\dots\dots$ και $S \dots\dots\dots$

16. Όταν ένα αέριο εκτονώνεται υπό σταθερή θερμοκρασία έως ότου διπλασιαστεί ο όγκος του τότε η πίεσή του $\dots\dots\dots$, ενώ, όταν θερμαίνεται υπό σταθερό όγκο από $T_1=300K$ σε $T_2=600K$, τότε $\dots\dots\dots$

17. Η αύξηση της πίεσης ενός αερίου, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του έχει ως αίτιο την $\dots\dots\dots$ της $\dots\dots\dots$ των μορίων του.

18. Γράψτε τη μαθηματική σχέση που εκφράζει την καταστατική εξίσωση των αερίων και εξηγήστε τους σχετικούς συμβολισμούς.
19. Με την προϋπόθεση ότι στην καταστατική εξίσωση των αερίων αντικαθίσταται η πίεση σε , ο όγκος σε και η θερμοκρασία σε , η παγκόσμια σταθερά των αερίων έχει αριθμητική τιμή
20. Σε δύο όμοια δοχεία Δ_1 και Δ_2 περιέχονται αντίστοιχα 16g O_2 και 16g H_2 . Εξηγήστε για ποιο λόγο τα δύο αυτά αέρια, όταν βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, έχουν διαφορετική πίεση.
21. Εξηγήστε γιατί 1mol οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει σταθερό όγκο σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Υπολογίστε την τιμή αυτού του όγκου σε STP.

1.8 Ασκήσεις – προβλήματα

1. Υπολογίστε τις σχετικές μοριακές μάζες του όζοντος (O_3), του νιτρικού οξέος (HNO_3), του φωσφορικού οξέος (H_3PO_4) και του υδροξειδίου του αργιλίου ($Al(OH)_3$).

Σχετικές ατομικές μάζες:

O:16, H:1, N=14, P: 15, Al: 27

2. Κάθε άτομο Mg έχει μάζα ίση με τη μάζα δύο ατόμων C, ενώ η μάζα κάθε μορίου γλυκόζης είναι ίση με τη μάζα 15 ατόμων C. Υπολογίστε τη σχετική ατομική μάζα του Mg και τη σχετική μοριακή μάζα της γλυκόζης.

3. Γνωρίζοντας ότι οι χημικές ενώσεις H_2O και H_2O_2 έχουν αντίστοιχα σχετικές μοριακές μάζες 18 και 34, υπολογίστε τις σχετικές ατομικές μάζες του H και του O.

Υπόδειξη: Μπορείτε να βασιστείτε στην παρατήρηση ότι τα μόρια των δύο ενώσεων διαφέρουν κατά ένα άτομο O.

4. Υπολογίστε τον αριθμό ατόμων H και O που περιέχονται: α) σε 0,25 mol H_2O και β) σε 6,8g H_2O_2 .

Σχετικές ατομικές μάζες:

H:1, O:16.

5. Σε ένα κρύσταλλο $CaCl_2$ περιέχονται $12 \cdot 10^{21}$ ιόντα Cl^- . Υπολογίστε:

α) τον αριθμό ιόντων Ca^{2+} που περιέχονται στον κρύσταλλο, και

β) τη μάζα του κρυστάλλου.

Σχετικές ατομικές μάζες:

Ca:40, Cl:35,5.

6. Συμπληρώστε τα κενά του παρακάτω πίνακα:

Σύμβολο στοιχείου	Mg	S	Fe
Σχετική ατομική μάζα (A_r)	24		56
Αριθ. Mol ατόμων		0,5	
Μάζα	1,2g	16g	
Αριθμός ατόμων			$6 \cdot 10^{22}$

7. Σε ένα δοχείο όγκου 8,2L περιέχονται 8g CH_4 σε θερμοκρασία $27^\circ C$. Υπολογίστε: α) τον αριθμό mol και β) την πίεση του CH_4 .

Σχετικές ατομικές μάζες: C:12, H:1.

8. Σε ένα δοχείο περιέχονται 4g H_2 και 14g N_2 σε θερμοκρασία 400K. Αν το μείγμα των δύο αυτών αερίων ασκεί πίεση 16,4atm, να υπολογίσετε τον όγκο του δοχείου.
Σχετικές ατομικές μάζες:
H:1, N:14.
9. Σε ένα δοχείο όγκου 82 L περιέχονται 4g H_2 και 22g CO_2 σε θερμοκρασία $\theta = 127^\circ C$. Να υπολογίσετε:
α) το συνολικό αριθμό mol των αερίων
β) την πίεση του αερίου μείγματος
Σχετικές ατομικές μάζες:
H:1, C:12, O: 16.
10. Πόσα μόρια περιέχονται:
α) σε 3 mL υγρού νερού μάζας 3g
β) σε 3 mL υδρατμών θερμοκρασίας $27^\circ C$ και πίεσης 0,82 atm.
 $M_r (H_2O) = 18$
11. Υπολογίστε τον όγκο σε STP:
α) 2,5mol SO_2
β) 6,4g O_2
γ) $3 \cdot 10^{22}$ μορίων αέριας αμμωνίας.
Δίνεται: $A_r (O)=16$.
12. Ένα δοχείο χωρητικότητας 5,6 L περιέχει CO_2 σε STP.
Υπολογίστε τον αριθμό mol, τη μάζα και τον αριθμό μορίων του CO_2 που περιέχονται σ' αυτό το δοχείο.
Δίνεται $M_r (CO_2) = 44$.
13. Υπολογίστε τον όγκο του υδρογόνου, καθώς και τον όγκο του χλωρίου σε STP, που απαιτούνται για την παρασκευή 10mol HCl, σύμφωνα με την χημική εξίσωση:
 $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$.
14. Ο σίδηρος μπορεί να παρασκευασθεί με αναγωγή οξειδίων του σιδήρου από H_2 ή CO. Υπολογίστε τη μάζα του Fe που μπορεί να παραχθεί, καθώς και τον όγκο του απαιτούμενου υδρογόνου σε STP κατά την αναγωγή 320 τόνων ($=320 \cdot 10^6 g$) Fe_2O_3 με βάση τη χημική εξίσωση:
 $Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$.
Σχετικές ατομικές μάζες:
Fe: 56, O:16
15. Σε ένα αραιό διάλυμα που περιείχε 0,05mol H_2SO_4 ρίξαμε ένα σιδερένιο καρφί μάζας 10g, το οποίο άρχισε να αντιδρά σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:
 $Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2 \uparrow$.
Μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης διαπιστώσαμε ότι αντέδρασε όλη η ποσότητα

του H_2SO_4 . Υπολογίστε τον όγκο του αερίου που ελευθερώθηκε, καθώς και τη μάζα του καρβιού που θα παραμείνει μετά το τέλος της αντίδρασης.

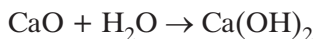
Δίνεται: $A_r(\text{Fe}) = 56$.

16. Ο ασβεστόλιθος είναι μία μορφή CaCO_3 ο οποίος διασπάται κατά τη θέρμανσή του στους 1000°C προς CaO (άσβεστος ασβέστης) και CO_2 σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



- α) Υπολογίστε τη μάζα του άσβεστου ασβέστη που θα παραχθεί κατά τη θερμική διάσπαση ενός τόνου καθαρού ασβεστόλιθου, καθώς και τον όγκο σε STP του CO_2 που θα ελευθερωθεί συγχρόνως.

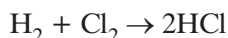
- β) Ο άσβεστος ασβέστης με την επίδραση νερού μετατρέπεται σε σβησμένο ασβέστη ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



Υπολογίστε τη μάζα του σβησμένου ασβέστη που μπορεί να παραχθεί από ένα τόνο ασβεστόλιθου με βάση τις παραπάνω χημικές διεργασίες. Σχετικές ατομικές μάζες:

Ca:40, C:12, H:1, O:16

17. Αναμείξαμε 4g H_2 με $28,4\text{g Cl}_2$. Βρείτε τη σύσταση του μείγματος που θα προκύψει μετά την ολοκλήρωση της χημικής αντίδρασης που αποδίδεται με τη χημική εξίσωση:



Σχετικές ατομικές μάζες:

H:1, Cl:35,5

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Για τη μέτρηση των μαζών των δομικών σωματιδίων ύλης (ατόμων, μορίων, ιόντων), χρησιμοποιείται η μονάδα a.m.u. (σύμβολο 1u). Η μονάδα αυτή ορίζεται ως το 1/12 της μάζας του ατόμου ^{12}C . Η σχετική ατομική μάζα (A_r) ενός στοιχείου, ή η σχετική μοριακή μάζα (M_r) ενός στοιχείου ή μίας χημικής ένωσης, εκφράζουν την αριθμητική τιμή της μάζας ενός ατόμου ή ενός μορίου αντίστοιχα, όταν αυτές μετρώνται σε μονάδες a.m.u. Οι σχετικές ατομικές και οι σχετικές μοριακές μάζες είναι καθαροί (αδιάστατοι) αριθμοί π.χ. Μάζα ενός ατόμου S = 32u, $A_r(\text{S}) = 32$.

Μία ποσότητα ενός στοιχείου η οποία έχει μάζα τόσων g όση είναι η σχετική ατομική μάζα του στοιχείου αυτού, αποτελείται από $6 \cdot 10^{23}$ άτομα. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται αριθμός Avogadro και είναι ίδιος για όλα τα στοιχεία.

Ορίζουμε 1mol ατόμων, μορίων, ή ιόντων ένα πλήθος που αποτελείται από $6 \cdot 10^{23}$ άτομα, μόρια ή ιόντα αντίστοιχα.

Η πίεση του κάθε αερίου οφείλεται στις δυνάμεις που ασκούν τα μόρια του αερίου στα τοιχώματα του δοχείου, εξ αιτίας των συγκρούσεών τους με αυτά.

Η μέση ταχύτητα των μορίων ενός αερίου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Η πίεση ενός αερίου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του T , ανάλογη του αριθμού mol και αντίστροφα ανάλογη του όγκου του. Οι μεταβλητές αυτές (P , V , T , n) συνδέονται με την καταστατική εξίσωση των αερίων $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Ως πρότυπες συνθήκες (STP) θεωρούμε τις τιμές $P=1\text{atm}$ και $T=273\text{K}$.

Ο όγκος κάθε χημικής ουσίας, όταν αυτή βρίσκεται σε αέρια κατάσταση είναι ίσος με 22,4L σε STP. Ο όγκος αυτός είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τον όγκο που καταλαμβάνει η ίδια ποσότητα (1mol) της χημικής αυτής ουσίας όταν αυτή βρίσκεται σε στερεά ή σε υγρή φυσική κατάσταση.