

Γενική Χημεία

Νίκος Ξεκουκουλωτάκης
Επίκουρος Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Γραφείο Κ2.125, τηλ.: 28210-37772
e-mail: nikosxek@gmail.com



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή στις χημικές αντιδράσεις
- Μοριακή και τυπική μάζα
- Η έννοια του mole
- Χημικές αντιδράσεις: εξισώσεις
 - ✓ αναγραφή και ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων
- Στοιχειομετρία χημικών αντιδράσεων
- Περιοριστικό αντιδρών
- Θεωρητική και πραγματική απόδοση μίας χημικής αντίδρασης



Μαθησιακά Αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να υπολογίζετε τη μοριακή και την τυπική μάζα των μοριακών και των ιοντικών ενώσεων, αντίστοιχα.
- ✓ Να μετατρέπετε τα γραμμάρια σε moles και αντίστροφα χρησιμοποιώντας τις γραμμομοριακές μάζες.
- ✓ Να μετατρέπετε τον αριθμό των μορίων σε moles και αντίστροφα χρησιμοποιώντας τον αριθμό Avogadro.
- ✓ Να ισοσταθμίζετε τις χημικές εξισώσεις.



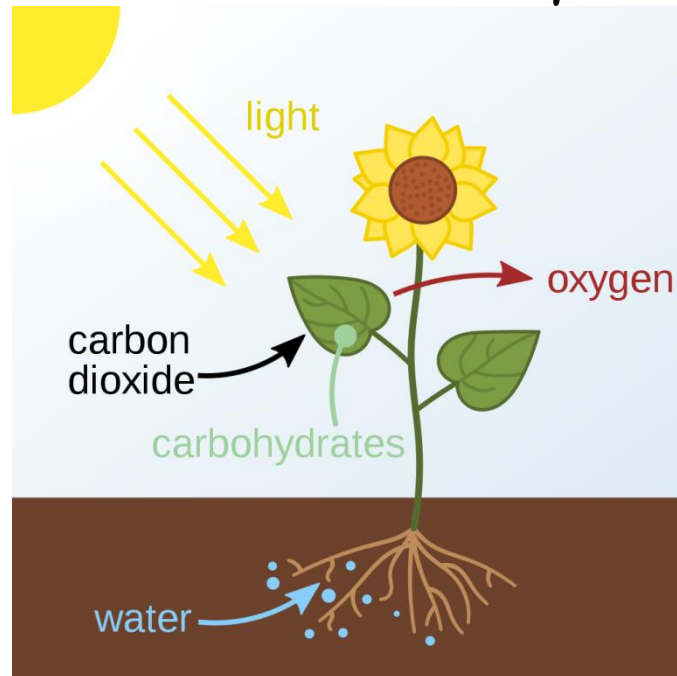
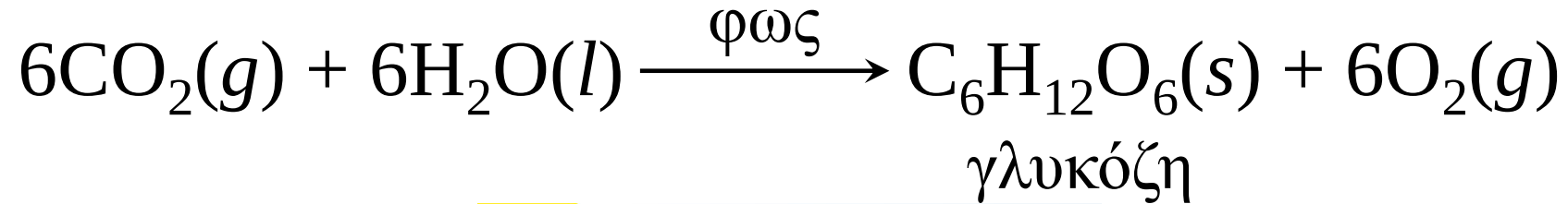
Μαθησιακά Αποτελέσματα

- ✓ Να υπολογίζετε την ποσότητα των αντιδρώντων ή/και των προϊόντων μίας χημικής αντίδρασης, εκφρασμένη τόσο σε γραμμάρια όσο και σε moles.
- ✓ Να αναγνωρίζετε το περιοριστικό αντιδρών σε μία χημική αντίδραση και να επιλύετε τα σχετικά στοιχειομετρικά προβλήματα.
- ✓ Να υπολογίζετε την επί τοις εκατό απόδοση μίας χημικής αντίδρασης.



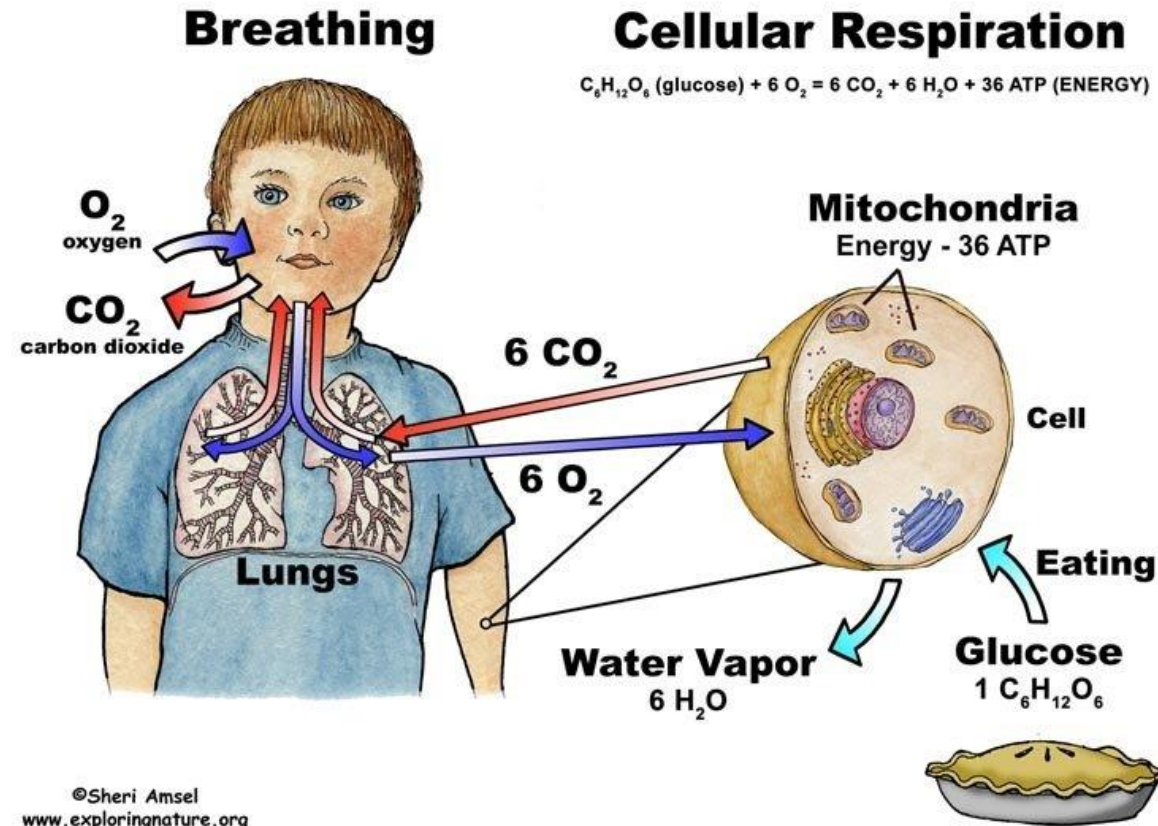
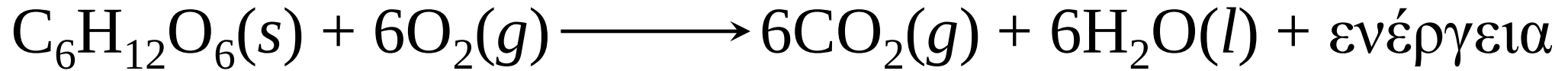
Χημικές αντιδράσεις

- Η χημικές αντιδράσεις έχουν τεράστια σημασία τόσο στη Φύση όσο και στην καθημερινή μας ζωή.
- **Φωτοσύνθεση:**



Χημικές αντιδράσεις

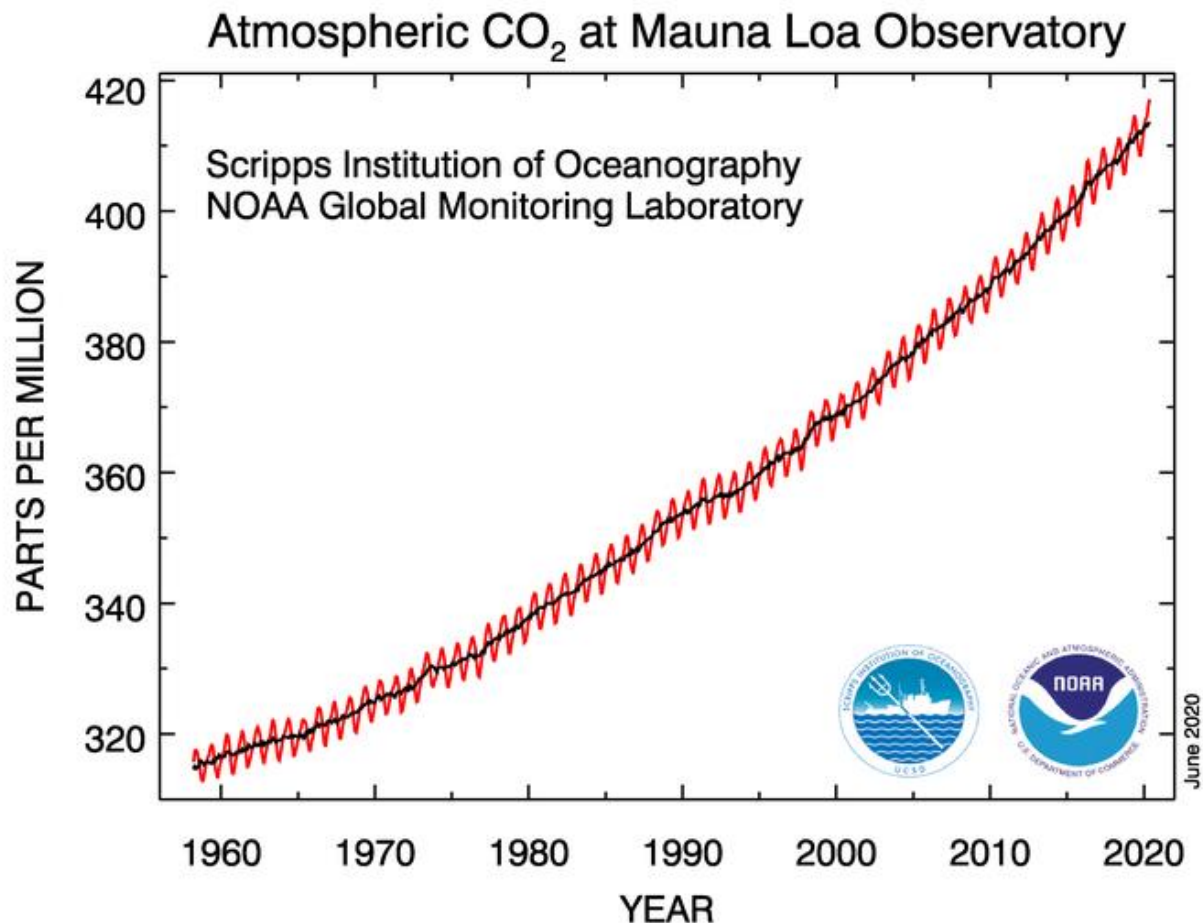
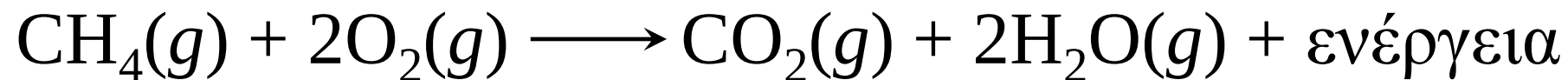
- **Αναπνοή:** μετατροπή των τροφών σε ενέργεια.



Χημικές αντιδράσεις



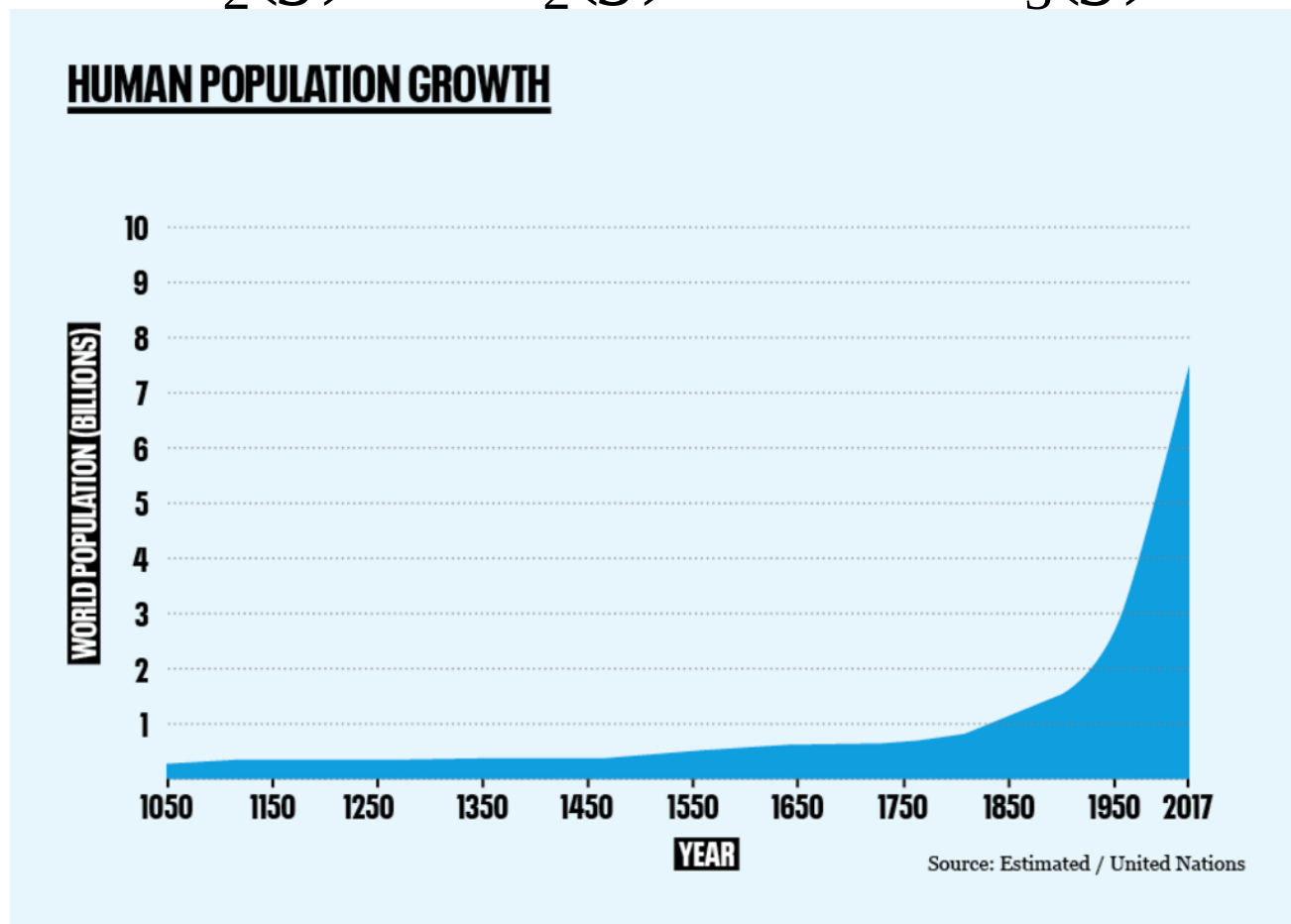
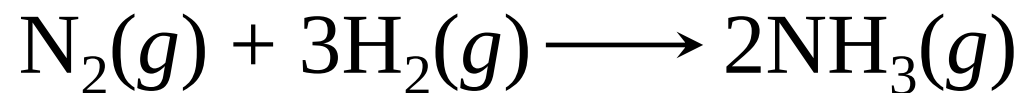
➤ Καύση των υδρογονανθράκων:



Χημικές αντιδράσεις



➤ Παραγωγή αμμωνίας:



<https://www.nature.com/articles/22672>



Απαρίθμηση με ζύγιση

- Οι χημικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν αναδιατάξεις των ατόμων των διαφόρων ουσιών που συμμετέχουν στην αντίδραση.
- Κατά την πραγματοποίηση μίας χημικής αντίδρασης, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον αριθμό των ατόμων του κάθε στοιχείου ενός δείγματος.
- Ωστόσο, τα άτομα είναι πολύ μικρά για να μετρηθούν άμεσα.
- Άρα, απαιτείται ένας έμμεσος τρόπος μέτρησης των ατόμων ο οποίος να είναι βολικός τόσο στη βιομηχανία όσο και στο χημικό εργαστήριο.



Απαρίθμηση με ζύγιση

- Στην καθημερινή μας ζωή, συνήθως μετράμε τα διάφορα αντικείμενα:
 - ✓ είτε ζυγίζοντας τα: π.χ. 2,5 kg ζάχαρη, 500 g βούτυρο
 - ✓ είτε απαριθμώντας τα: π.χ. 1 ντουζίνα (δωδεκάδα) αυγά, 5 μολύβια.
- Παρομοίως, στη Χημεία ενδιαφερόμαστε για τη μέτρηση τόσο του αριθμού των ατόμων που συμμετέχουν σε μία χημική αντίδραση όσο και της μάζας τους.
- Στη Χημεία, η απαρίθμηση των αντικειμένων (ατόμων, μορίων και ιόντων) γίνεται με ζύγιση!!!



Απαρίθμηση με ζύγιση

- Ο αριθμός των ατόμων μπορεί να μετρηθεί με ζύγιση, δηλαδή μετρώντας τη μάζα τους!!!
- Για να βρεθεί ο αριθμός διαφόρων ίδιων αντικειμένων μέσω ζύγισης, θα πρέπει να είναι γνωστή η μέση μάζα του κάθε αντικειμένου.
- Ομοίως, για να βρεθεί ο αριθμός των ατόμων ενός στοιχείου που συμμετέχει σε μία χημική αντίδραση, θα πρέπει να είναι γνωστή η μέση ατομική μάζα του κάθε στοιχείου.



Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων



	I _A 1																	VIII _A 18
1	1 H 1,008 Υδρογόνο																	2 He 4,002602 Ήλιο
2	3 Li 6,94 Λίθιο	4 Be 9,012183 Βηρύλλιο											5 B 10,81 Βόριο	6 C 12,011 Ανθρακας	7 N 14,007 Αζωτο	8 O 15,999 Οξυγόνο	9 F 18,998403 Φθόριο	10 Ne 20,1797 Νέο
3	11 Na 22,989769 Νάτριο	12 Mg 24,305 Μαγνήσιο											13 Al 26,981539 Αργίλιο	14 Si 28,085 Πυρίτιο	15 P 30,973762 Φωσφόρος	16 S 32,06 Θείο	17 Cl 35,45 Χλώριο	18 Ar 39,95 Αργό
4	19 K 39,0983 Κάλιο	20 Ca 40,078 Ασβέστιο	21 Sc 44,955908 Σκάνδιο	22 Ti 47,867 Τιτάνιο	23 V 50,9415 Βανάδιο	24 Cr 51,9961 Χρόμιο	25 Mn 54,938043 Μαγγάνιο	26 Fe 55,845 Σίδηρος	27 Co 58,933194 Κοβάλτιο	28 Ni 58,6934 Νικέλιο	29 Cu 63,546 Χαλκός	30 Zn 65,38 Ψευδάργυρος	31 Ga 69,723 Γάλλιο	32 Ge 72,630 Γερμάνιο	33 As 74,921595 Αρσενικό	34 Se 78,971 Σελήνιο	35 Br 79,904 Βρώμιο	36 Kr 83,798 Κρυπτό
5	37 Rb 85,4678 Ρουβίδιο	38 Sr 87,62 Στρόντιο	39 Y 88,90584 Υτρίο	40 Zr 91,224 Ζιρκόνιο	41 Nb 92,90637 Νιόβιο	42 Mo 95,95 Μολυβδαίνιο	43 Tc [98] Τεχνητίο	44 Ru 101,07 Ρουθήνιο	45 Rh 102,90549 Ρόδιο	46 Pd 106,42 Παλλάδιο	47 Ag 107,8682 Αργυρος	48 Cd 112,414 Κάδμιο	49 In 114,818 Ινδίο	50 Sn 118,710 Κασσίτερος	51 Sb 121,760 Αντιμόνιο	52 Te 127,60 Τελουρίο	53 I 126,90447 Ιώδιο	54 Xe 131,293 Ξένο
6	55 Cs 132,90545 Καίσιο	56 Ba 137,327 Βάριο	57 La* 138,90547 Λανθάνιο	72 Hf 178,49 Αφνιο	73 Ta 180,94788 Ταντάλιο	74 W 183,84 Βολφράμιο	75 Re 186,207 Ρήνιο	76 Os 190,23 Όσμιο	77 Ir 192,217 Ιρίδιο	78 Pt 195,084 Λευκόχρυσος	79 Au 196,96657 Χρυσός	80 Hg 200,592 Υδράργυρος	81 Tl 204,38 Θάλλιο	82 Pb 207,2 Μόλυβδος	83 Bi 208,98040 Βισμούθιο	84 Po [208,98] Πολώνιο	85 At [209,99] Αστάτιο	86 Rn [222,02] Ραδόνιο
7	87 Fr [223,02] Φράγκιο	88 Ra [226,03] Ράδιο	89 Ac** [227,03] Ακτίνιο	104 Rf [267,1] Ραδεφωρόδιο	105 Db [268,1] Ντούμπνιο	106 Sg [269,1] Σημπόργκιο	107 Bh [270,1] Μπόριο	108 Hs [269,1] Χάσιο	109 Mt [278,2] Μεϊνττέριο	110 Ds [281,2] Νταρμστάντιο	111 Rg [282,2] Ρεντγκένιο	112 Cn [285,2] Κοπερνίκιο	113 Nh [286,2] Νιχόνιο	114 Fl [289,2] Φλερόβιο	115 Mc [289,2] Μοσχόβιο	116 Lv [293,2] Λιβερμόριο	117 Ts [293,2] Τεννессίνιο	118 Og [294,2] Ογκάνεσσον

Μέταλλα
Αμέταλλα
Μεταλλοειδή

Σχετική ατομική μάζα

Σχετική ατομική μάζα

*Λανθανίδες

**Ακτινίδες

58 Ce 140,116 Δημήτριο	59 Pr 140,90766 Πρασεοδύμιο	60 Nd 144,242 Νεοδύμιο	61 Pm [145] Προμήθειο	62 Sm 150,36 Σαμάριο	63 Eu 151,964 Ευρώπιο	64 Gd 157,25 Γαδολίνιο	65 Tb 158,92535 Τέρβιο	66 Dy 162,500 Δυσπρόσιο	67 Ho 164,93033 Όλμιο	68 Er 167,259 Έρβιο	69 Tm 168,93422 Θούλιο	70 Yb 173,045 Υττέρβιο	71 Lu 174,9668 Λουτέτιο
90 Th 232,0377 Θόριο	91 Pa 231,03588 Πρωτακτίνιο	92 U 238,02891 Ουράνιο	93 Np [237,05] Ποσειδώνιο	94 Pu [244,06] Πλουτόνιο	95 Am [243,06] Αμερίκιο	96 Cm [247,07] Κιούριο	97 Bk [247,07] Μπερκέλιο	98 Cf [251,08] Καλιφόρνιο	99 Es [252,08] Αϊνστάινιο	100 Fm [257,10] Φέρμιο	101 Md [258,10] Μεντελέβιο	102 No [259,10] Νομπέλιο	103 Lr [262,11] Λωρέντιο



Μοριακή μάζα

- Η **μοριακή μάζα** (MM) (ή μοριακό βάρος, molecular weight) μίας ουσίας είναι το άθροισμα των ατομικών μαζών (ή βαρών) όλων των ατόμων τα οποία υπάρχουν στο μόριο της ουσίας.
- ✓ MM του H_2O = $2 \times 1,008 + 15,999 = 18,015 \text{ amu}$
- ✓ MM της NH_3 = $14,007 + 3 \times 1,008 = 17,031 \text{ amu}$
- ✓ MM του H_2SO_4 = $2 \times 1,008 + 32,06 + 4 \times 15,999 = 98,07 \text{ amu}$
- ✓ MM του CHCl_3 = $12,011 + 1,008 + 3 \times 35,45 = 119,37 \text{ amu}$



Τυπική μάζα

- Η **τυπική μάζα** (TM) (ή τυπικό βάρος, **formula weight**) μίας ουσίας είναι το άθροισμα των ατομικών μαζών (ή βαρών) όλων των ατόμων τα οποία υπάρχουν σε μία τυπική μονάδα της ουσίας, ανεξάρτητα αν η ουσία είναι μοριακή ή όχι.
- TM του NaCl = $22,989769 + 35,45 = 58,44$ amu
- TM του $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ = $2 \times 55,845 + 3 \times 32,06 + 12 \times 15,999 = 399,75$ amu
- TM του $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = $63,546 + 32,06 + 4 \times 15,999 + 10 \times 1,008 + 5 \times 15,999 = 249,68$ amu



Μοριακή και τυπική μάζα

- Παρατήρηση!!!: η μοριακή και η τυπική μάζα μίας ουσίας υπολογίζεται με βάση τις ακριβείς ατομικές μάζες, όπως αυτές δίνονται στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων.
- Κατά την εκτέλεση των πράξεων να εφαρμόζετε τους κανόνες για τα σημαντικά ψηφία.
- Συνήθως η μοριακή και η τυπική μάζα στρογγυλοποιείται στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο, π.χ.:
- ✓ MM του H_2 = 2,016 amu → **2,02 amu**
- ✓ MM του H_2O = 18,015 amu → **18,02 amu**
- ✓ MM της NH_3 = 17,031 amu → **17,03 amu**



Η έννοια του mole

- Ορισμός του **mole** (σύμβολο **mol**): ποσότητα της ύλης η οποία περιέχει τόσα αντικείμενα (άτομα, μόρια, ιόντα, τυπικές μονάδες ή οποιαδήποτε άλλα αντικείμενα) όσα περιέχονται σε ακριβώς 12 g του ισοτόπου του άνθρακα-12, ^{12}C .
- Σε 12 g του ισοτόπου του άνθρακα-12, ^{12}C , περιέχονται **$6,02214179 \times 10^{23}$** άτομα.
- Ο αριθμός αυτός ονομάζεται **αριθμός Avogadro**, σύμβολο N_A , και έχει μονάδες **mol^{-1}** .

$$N_A = 6,02214179 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$



Η έννοια του mole

- Άρα, 1 mol ύλης περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ αντικείμενα (άτομα, μόρια, ιόντα, τυπικές μονάδες ή οποιαδήποτε άλλα αντικείμενα).
- Δηλαδή το mole ορίζεται με βάση τον αριθμό των αντικειμένων.
- Κατ' αντιστοιχία ορίζεται και η δωδεκάδα (ντουζίνα) = περιέχει ακριβώς 12 αντικείμενα.
- π.χ. 1 δωδεκάδα (ντουζίνα) αυγά = 12 αυγά.





Η έννοια του mole

- Μία μονάδα απαρίθμησης των αντικειμένων, όπως η ντουζίνα, δίνει τον αριθμό των αντικειμένων, αλλά όχι τη μάζα τους.
- Μία μονάδα μέτρησης της μάζας, όπως το κιλό, δίνει τη μάζα των αντικειμένων, αλλά όχι τον αριθμό τους.
- Το mole δίνει ταυτόχρονα και τα δύο: τον αριθμό των αντικειμένων σε μία δεδομένη ποσότητα μάζας της ουσίας.
- 1 mol άνθρακα-12 περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ άτομα άνθρακα-12 και ζυγίζει ακριβώς 12 g.
- Η γνώση της ποσότητας σε mole, της μάζας σε g και του αριθμού των σωματιδίων είναι πάρα πολύ σημαντική κατά την ανάμιξη διαφόρων ουσιών για την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων.



Η έννοια του mole

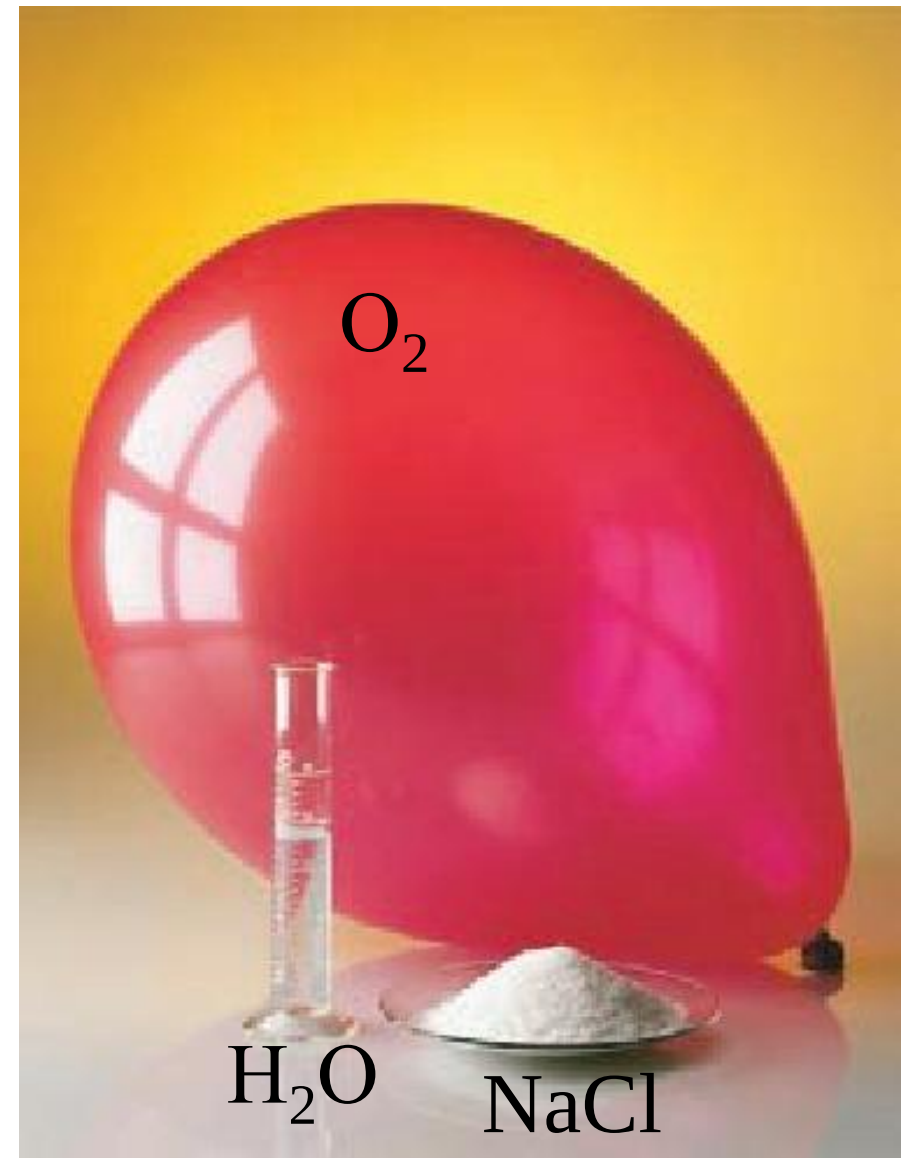
- 1 mol ατόμων ^{12}C = $6,022 \times 10^{23}$ άτομα ^{12}C
- 1 mol ατόμων O = $6,022 \times 10^{23}$ άτομα O
- 1 mol μορίων O_2 = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια O_2
- 1 mol μορίων H_2O = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια H_2O
- 1 mol τυπικών μονάδων NaCl = $6,022 \times 10^{23}$ τυπικές μονάδες NaCl
- 1 mol ιόντων NO_3^- = $6,022 \times 10^{23}$ ιόντα NO_3^-
- 1 mol πέτρες = $6,022 \times 10^{23}$ πέτρες
- 1 mol άνθρωποι = $6,022 \times 10^{23}$ άνθρωποι
- 1 mol ευρώ = $6,022 \times 10^{23}$ ευρώ!!!



Η έννοια του mole

- Προσοχή!!!: 1 mol ατόμων οξυγόνου περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ άτομα οξυγόνου.
- 1 mol μορίων O_2 περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ μόρια O_2 , τα οποία είναι $2 \times 6,022 \times 10^{23}$ άτομα οξυγόνου.
- Ο όρος mole για τις ιοντικές ενώσεις αναφέρεται στον αριθμό των τυπικών μονάδων της ουσίας, π.χ.
- 1 mol τυπικών μονάδων Na_2CO_3 περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ τυπικές μονάδες Na_2CO_3 , οι οποίες περιέχουν $2 \times 6,022 \times 10^{23}$ ιόντα Na^+ και $6,022 \times 10^{23}$ ιόντα CO_3^{2-} .

1 mol διαφόρων ουσιών





Πόσο ζυγίζει 1 mol???

- 1 mol αντικειμένων περιέχει πάντα $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ αντικείμενα.
- Ωστόσο, η μάζα του 1 mol αντικειμένων δεν είναι πάντοτε η ίδια.
- Προφανώς εξαρτάται από το είδος των αντικειμένων.
- Η μάζα του 1 mol αντικειμένων είναι διαφορετική κάθε φορά, ανάλογα με τη μάζα του κάθε ενός αντικειμένου.

Πόσο ζυγίζει 1 mol???

- Έστω 1 mol φράουλες και 1 mol πορτοκάλια.



- Έστω ότι η κάθε φράουλα ζυγίζει 10 g και το κάθε πορτοκάλι ζυγίζει 200 g (20 φορές περισσότερο).
- 1 mol φράουλες ζυγίζει $10 \times 6,022 \times 10^{23}$ g και 1 mol πορτοκάλια ζυγίζει $200 \times 6,022 \times 10^{23}$ g (20 φορές περισσότερο).



Πόσο ζυγίζει 1 mol???

- Έστω τα εξής άτομα:
- ✓ H: $A_r = 1$ amu (για την ακρίβεια 1,008 amu)
- ✓ ^{12}C : $A_r = 12$ amu, εξ' ορισμού
- ✓ Mg: $A_r = 24$ amu (για την ακρίβεια 24,3050 amu)
- 1 mol ατόμων ^{12}C περιέχει $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ άτομα ^{12}C και ζυγίζει 12 g (εξ' ορισμού).
- Το κάθε ένα άτομο υδρογόνου έχει 12 φορές λιγότερη μάζα από το κάθε ένα άτομο του ^{12}C .
- Κατά συνέπεια, 1 mol ατόμων H περιέχει $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ άτομα H και ζυγίζει 1 g (για την ακρίβεια 1,008 g).



Πόσο ζυγίζει 1 mol???

- Ομοίως, το κάθε ένα άτομο μαγνησίου έχει 2 φορές μεγαλύτερη μάζα από το κάθε ένα άτομο του ^{12}C .
- Κατά συνέπεια, 1 mol ατόμων Mg περιέχει $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ άτομα Mg και ζυγίζει 24 g (για την ακρίβεια 24,3050 g).
- ... Κ.Ο.Κ.
- Δηλαδή, 1 mol ατόμων, μορίων, ιόντων ή τυπικών μονάδων ζυγίζει όσο η ατομική ή μοριακή ή τυπική μάζα μετρημένη σε g!!!



Πόσο ζυγίζει 1 mol???

- 1 mol ατόμων H ζυγίζει 1,008 g
- 1 mol ατόμων O ζυγίζει 15,999 g
- 1 mol ατόμων Na ζυγίζει 23,989769 g
- 1 mol μορίων H_2 ζυγίζει $2 \times 1,008 = 2,016$ g
- 1 mol μορίων O_2 ζυγίζει $2 \times 15,999 = 31,998$ g
- 1 mol μορίων H_2O ζυγίζει $2 \times 1,008 + 15,999 = 18,015$ g
- 1 mol ιόντων NO_3^- ζυγίζει 62,004 g
- 1 mol τυπικών μονάδων NaCl ζυγίζει 58,44 g
- 1 mol τυπικών μονάδων $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ζυγίζει 249,68 g



Η έννοια του mole

- Τα δύο βασικά σημεία που πρέπει να θυμάστε για τη σημασία της έννοιας του mole είναι:
- ✓ το mole μάς επιτρέπει να συσχετίσουμε τον αριθμό των στοιχειωδών σωματιδίων (ατόμων, μορίων, ιόντων, τυπικών μονάδων) με τη μάζα ενός δείγματος αυτών των σωματιδίων.
- ✓ το mole διατηρεί την ίδια αριθμητική σχέση μεταξύ της μάζας στην ατομική κλίμακα (ατομικές μονάδες μάζας, amu) και της μάζας στη μακροσκοπική κλίμακα (γραμμάρια, g).



Γραμμομοριακή μάζα

- Η γραμμομοριακή μάζα (**molar mass**) μίας ουσίας είναι η μάζα ενός mole της ουσίας.
- Η γραμμομοριακή μάζα μετριέται σε **g/mol**.
- Η γραμμομοριακή μάζα κάθε ουσίας μετρημένη σε **g/mol**, είναι πάντα αριθμητικά ίση με τη μοριακή ή την τυπική μάζα της ουσίας μετρημένη σε **amu**.
- Συνήθως η γραμμομοριακή μάζα, όπως η μοριακή και η τυπική μάζα, στρογγυλοποιείται στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο.



Παράδειγμα 8.1

- i. Πόση είναι η μάζα σε γραμμάρια ενός ατόμου χλωρίου, Cl;
 - ii. Πόση είναι η μάζα σε γραμμάρια ενός μορίου χλωριδίου του υδρογόνου, HCl;
- **Λύση**: Διαιρούμε τη γραμμομοριακή μάζα με τον αριθμό Avogadro:

$$\text{μάζα ενός ατόμου Cl} = \frac{35,45 \text{ g/mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 5,887 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$\text{μάζα ενός μορίου HCl} = \frac{36,46 \text{ g/mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 6,054 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$



Υπολογισμοί με moles

- Για να υπολογίζουμε τον αριθμό των moles μιας ουσίας διαιρούμε τη μάζα της ουσίας με τη γραμμομοριακή της μάζα:

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

- όπου:
- ✓ n είναι ο αριθμός των moles της ουσίας, σε mol
- ✓ m είναι η μάζα της ουσίας, σε g
- ✓ M είναι η γραμμομοριακή μάζα της ουσίας, σε g/mol



Υπολογισμοί με moles

- Ο αριθμός των moles μιας ουσίας μπορεί να υπολογιστεί και από την ακόλουθη σχέση:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

- όπου:
- ✓ n είναι ο αριθμός των moles της ουσίας, σε mol
- ✓ N είναι ο αριθμός των ατόμων, μορίων, ή τυπικών μονάδων της ουσίας
- ✓ N_A είναι ο αριθμός Avogadro $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$



Παράδειγμα 8.2

- Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια είναι τα 0,0654 mol ZnI_2 .
- Λύση:
- Η μοριακή μάζα του ZnI_2 είναι: $65,38 + 2 \times 126,90447 = 319,18894 \text{ amu} \rightarrow 319,19 \text{ amu}$
- Άρα η γραμμομοριακή μάζα του ZnI_2 είναι 319,19 g/mol.

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M \Leftrightarrow m = 0,0654 \text{ mol} \cdot 319,19 \text{ g/mol} \Leftrightarrow$$

$$m = 20,9 \text{ g}$$



Παράδειγμα 8.3

- Να υπολογίσετε πόσα moles είναι τα 45,6 g χρωμικού μολύβδου(II), PbCrO_4 .
- **Λύση:** Η μοριακή μάζα του PbCrO_4 είναι: $207,2 + 51,9961 + 4 \times 15,999 = 323,1921 \text{ amu} \rightarrow 323,2 \text{ amu}$ (η σχετική ατομική μάζα του μολύβδου δίνεται με ένα δεκαδικό ψηφίο).
- Άρα η γραμμομοριακή μάζα του PbCrO_4 είναι 323,2 g/mol.

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{45,6 \text{ g}}{323,2 \text{ g/mol}} = 0,141 \text{ mol}$$



Παράδειγμα 8.4

- Να υπολογίσετε πόσα μόρια υπάρχουν σε ένα δείγμα χλωριδίου του υδρογόνου, HCl, μάζας 3,46 g.
- **Λύση:** Η μοριακή μάζα του HCl είναι: $1,008 + 35,45 = 36,458$ amu $\rightarrow 36,46$ amu, άρα η γραμμομοριακή του μάζα είναι 36,46 g/mol.
- Υπολογίζουμε τα moles του HCl:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{3,46 \text{ g}}{36,46 \text{ g/mol}} = 0,0949 \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_A} \Leftrightarrow N = n \cdot N_A = 0,0949 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \Leftrightarrow$$

$$N = 5,71 \cdot 10^{22} \text{ μόρια HCl}$$



Υπολογισμοί με moles

- Έστω το μόριο του νερού, H_2O .
- 1 μόριο H_2O περιέχει 2 άτομα υδρογόνου και 1 άτομο οξυγόνου.
- $6,022 \times 10^{23}$ μόρια H_2O περιέχουν $2 \times 6,022 \times 10^{23}$ άτομα υδρογόνου και $6,022 \times 10^{23}$ άτομα οξυγόνου.
- 1 mol μορίων H_2O περιέχει 2 mol ατόμων υδρογόνου και 1 mol ατόμων οξυγόνου.
- 18,015 g H_2O περιέχουν $2 \times 1,008 = 2,016$ g υδρογόνου και 15,999 g οξυγόνου.



Παράδειγμα 8.5

➤ Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια υδρογόνου και οξυγόνου περιέχονται σε 0,913 g νερού.

➤ Λύση:

$$0,913 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}} \times \frac{2,016 \text{ g υδρογόνου}}{18,015 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}}} = 0,102 \text{ g υδρογόνου}$$

$$0,913 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}} \times \frac{15,999 \text{ g οξυγόνου}}{18,015 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}}} = 0,811 \text{ g οξυγόνου}$$



Παράδειγμα 8.6

➤ Έστω 1,000 g από τα ακόλουθα ιόντα:



➤ Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια αζώτου περιέχει το κάθε ιόν.

➤ Λύση:

i. NO_2^- : $1,000 \text{ g } \cancel{\text{NO}_2^-} \times \frac{14,007 \text{ g N}}{46,005 \text{ g } \cancel{\text{NO}_2^-}} = 0,3045 \text{ g N}$





Παράδειγμα 8.7

➤ Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια άνθρακα περιέχονται σε:

- i. 12,08 g γλυκόζης, $C_6H_{12}O_6$.
- ii. 18,55 g οξικού οξέος, CH_3COOH .
- iii. 5,44 g μεθανόλης, CH_3OH .

➤ Λύση:

i. $C_6H_{12}O_6$: $12,08 \text{ g } \cancel{C_6H_{12}O_6} \times \frac{6 \cdot 12,011 \text{ g C}}{180,156 \text{ g } \cancel{C_6H_{12}O_6}} = 4,832 \text{ g C}$

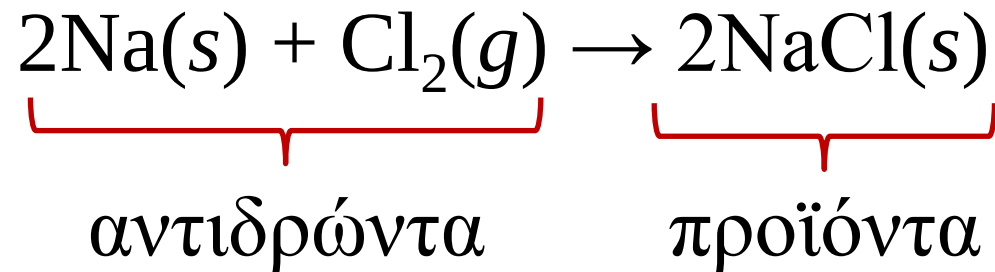
ii. CH_3COOH :

iii. CH_3OH :



Χημικές αντιδράσεις: εξισώσεις

- Οι χημικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν αναδιατάξεις των ατόμων των διαφόρων ουσιών που συμμετέχουν στην αντίδραση.
- Η αναδιάταξη των ατόμων παριστάνεται από μία **χημική εξίσωση**, η οποία χρησιμοποιεί χημικούς τύπους.
- **Χημική εξίσωση** είναι η παράσταση μίας χημικής αντίδρασης με τη χρήση χημικών τύπων και συμβόλων.

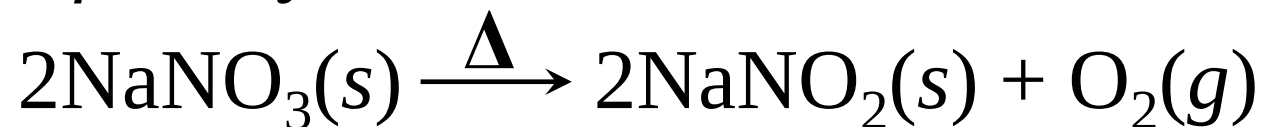




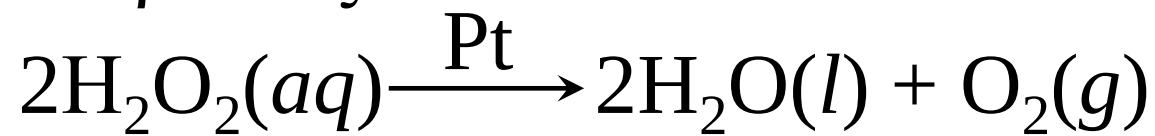
Αναγραφή χημικών εξισώσεων

- Στις χημικές εξισώσεις συχνά παρουσιάζονται και οι συνθήκες υπό τις οποίες λαμβάνει χώρα η αντίδραση:

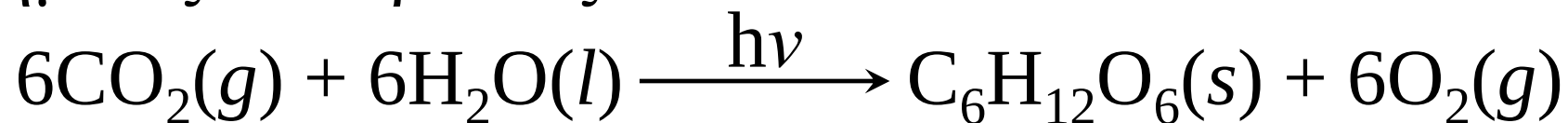
- Θερμικές αντιδράσεις:



- Καταλυτικές αντιδράσεις:



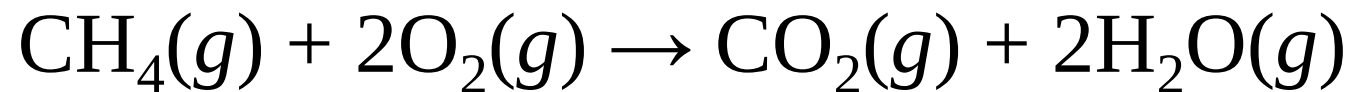
- Φωτοχημικές αντιδράσεις:



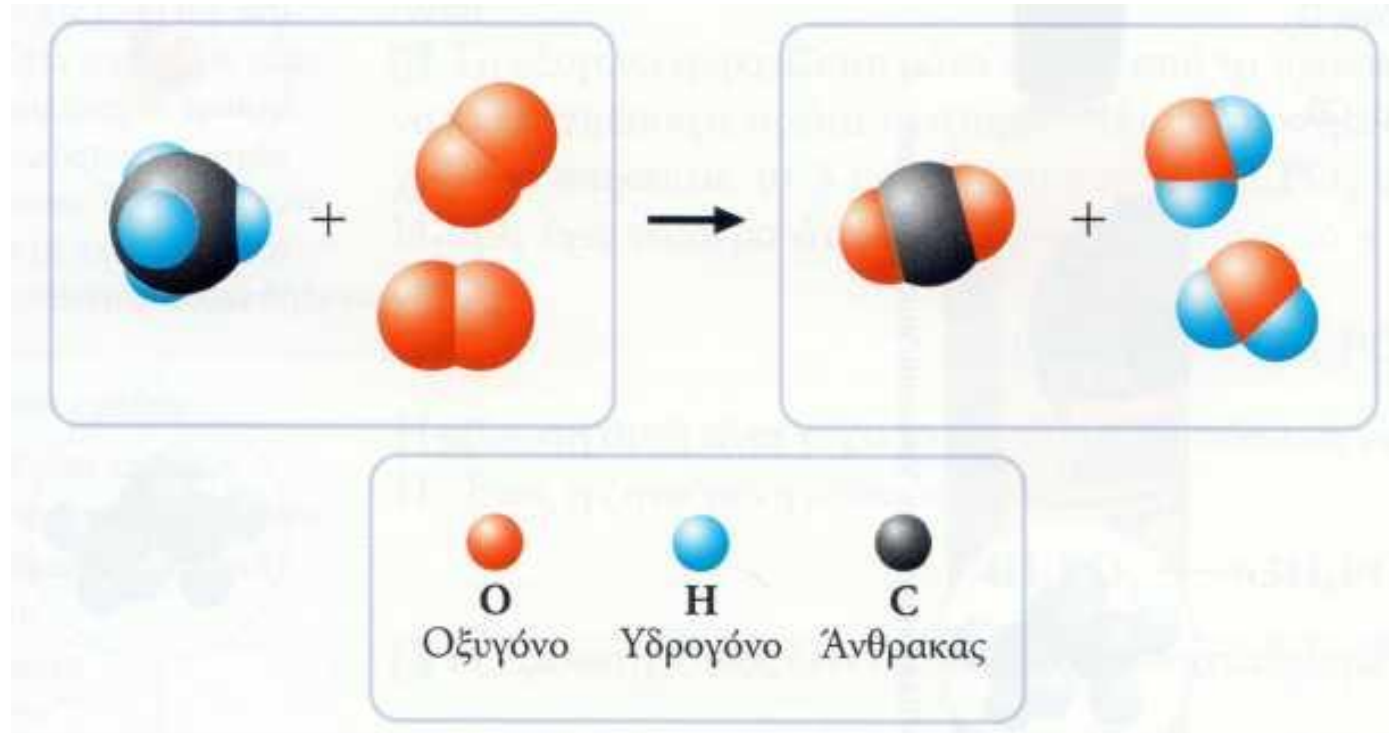
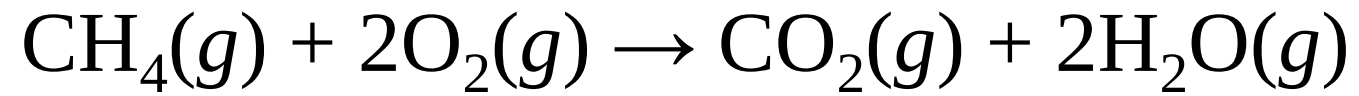


Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων

- Κατά την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, τα άτομα ούτε δημιουργούνται, ούτε καταστρέφονται, αλλά αναδιατάσσονται.
- Κατά συνέπεια, ο αριθμός των ατόμων όλων των στοιχείων πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της χημικής εξίσωσης.
- Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων συντελεστών, οι οποίοι ονομάζονται **στοιχειομετρικοί συντελεστές**.
- Τότε λέμε ότι η χημική εξίσωση είναι **ισοσταθμισμένη**.



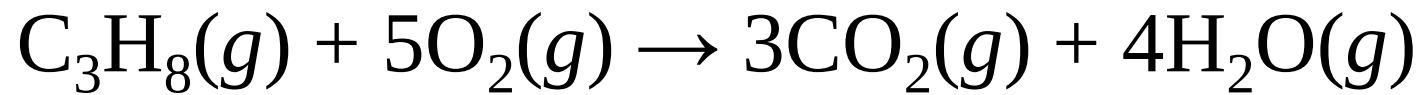
Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων



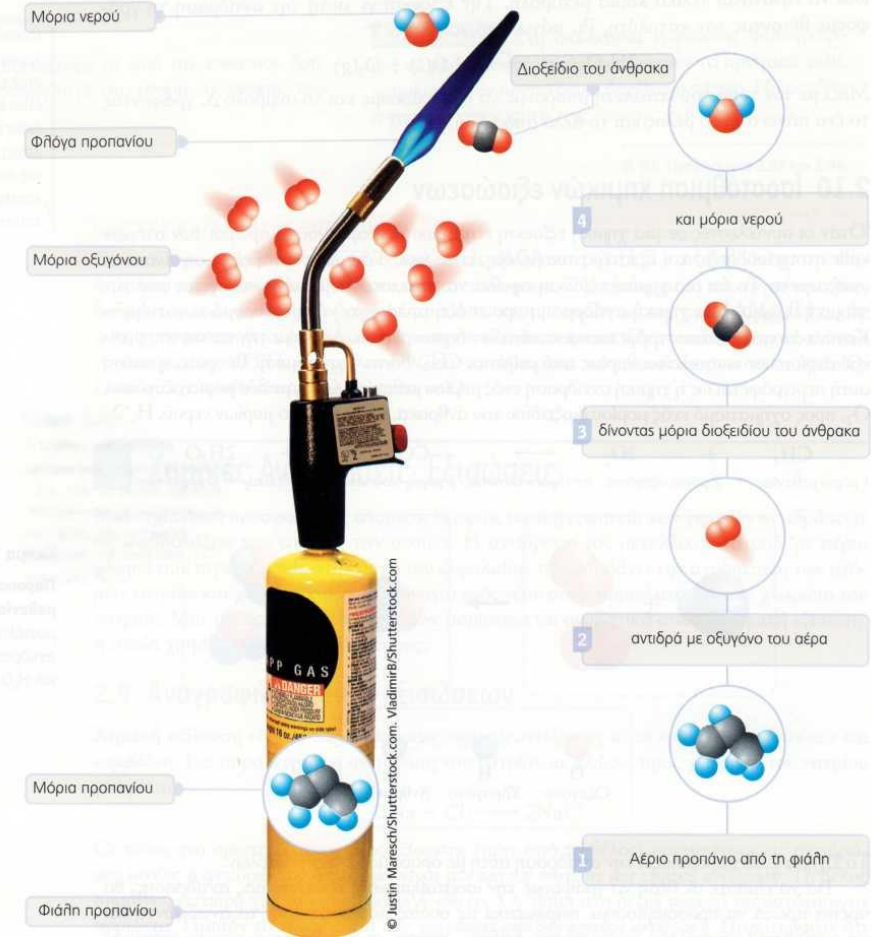


Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων

- Για να γίνει η ισοστάθμιση μίας χημικής εξίσωσης, θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν πειραματικά:
- ✓ τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντίδρασης
- ✓ οι χημικοί τύποι όλων των ουσιών που συμμετέχουν στην αντίδραση.



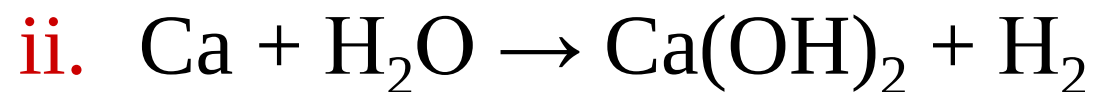
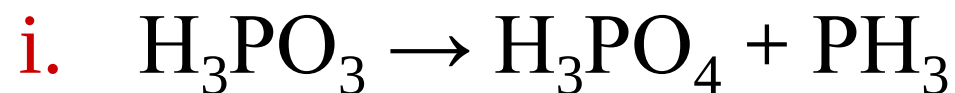
- Πρώτα ισοσταθμίζουμε τα άτομα των στοιχείων που εμφανίζονται σε μία μόνο ουσία σε κάθε πλευρά της χημικής εξίσωσης.



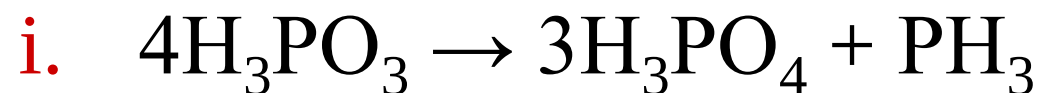


Παράδειγμα 8.8

➤ Να ισοσταθμίσετε τις παρακάτω χημικές εξισώσεις:



➤ Λύση:



ii.

iii.



Πρόβλημα #1:

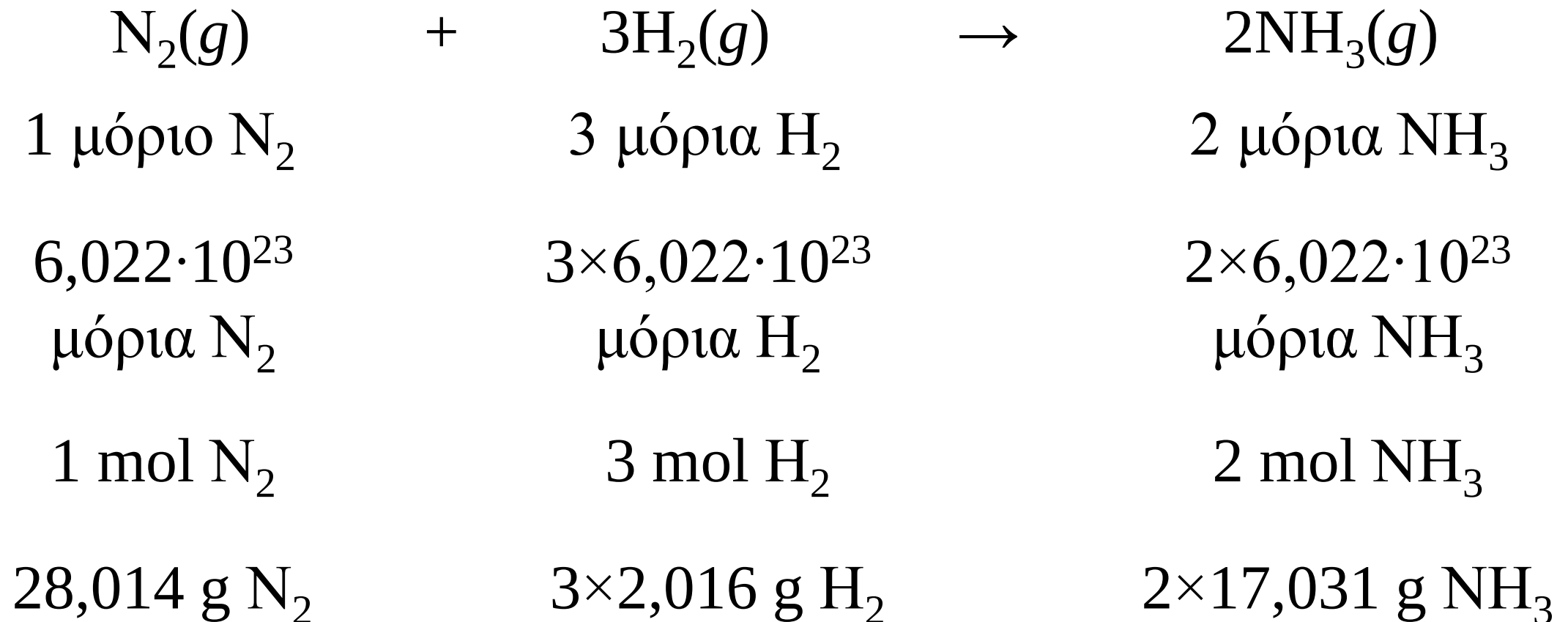
- Να υπολογίσετε την ποσότητα υδρογόνου, H_2 , μετρημένη σε kg, η οποία απαιτείται για την παραγωγή 1000,0 kg αμμωνίας, NH_3 , σύμφωνα με τη μέθοδο Haber:





Στοιχειομετρία χημικών αντιδράσεων

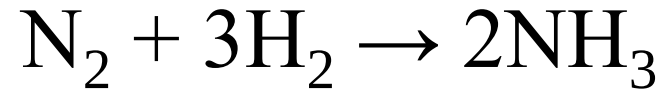
- **Στοιχειομετρία (stoichiometry)** είναι ο υπολογισμός των ποσοτήτων των αντιδρώντων και προϊόντων τα οποία συμμετέχουν σε μια χημική αντίδραση.





Στοιχειομετρικοί συντελεστές και mol

- Σε κάθε χημική εξίσωση οι στοιχειομετρικοί συντελεστές εκφράζουν την αναλογία των moles των αντιδρώντων και των προϊόντων τα οποία συμμετέχουν στην αντίδραση.



- 1 mol N_2 αντιδρά με 3 mol H_2 και σχηματίζονται 2 mol NH_3 .
- 10 mol N_2 αντιδρούν με 30 mol H_2 και σχηματίζονται 20 mol NH_3 .
- 0,1 mol N_2 αντιδρούν με 0,3 mol H_2 και σχηματίζονται 0,2 mol NH_3 .
- ... κ.ο.κ.



Στοιχειομετρικοί συντελεστές και mol

- Στην προηγούμενη αντίδραση έστω ότι έχουμε 4,8 mol H₂.
- Πόση ποσότητα αζώτου, N₂, απαιτείται ώστε να αντιδράσει πλήρως το υδρογόνο, H₂;
- Στην περίπτωση αυτή, πόση ποσότητα αμμωνίας, NH₃, παράγεται;

- **Απάντηση:**

- Απαιτούνται: $4,8 \cancel{\text{ mol H}_2} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{3 \cancel{\text{ mol H}_2}} = 1,6 \text{ mol N}_2$

- Παράγονται: $4,8 \cancel{\text{ mol H}_2} \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \cancel{\text{ mol H}_2}} = 3,2 \text{ mol NH}_3$

Μεθοδολογία λύσης των προβλημάτων στοιχειομετρίας



Δεδομένα:

μάζες των
αντιδρώντων
A ή/και B



χρήση των γραμμομοριακών
μαζών



moles των
αντιδρώντων
A ή/και B



χρήση των στοιχειομετρικών
συντελεστών της χημικής
εξίσωσης



Ζητούμενα:

μάζες των
προϊόντων
Γ ή/και Δ



χρήση των γραμμομοριακών
μαζών



moles των
προϊόντων
Γ ή/και Δ



Πρόβλημα #1:

- Να υπολογίσετε την ποσότητα υδρογόνου, H_2 , μετρημένη σε kg, η οποία απαιτείται για την παραγωγή 1000,0 kg αμμωνίας, NH_3 , σύμφωνα με τη μέθοδο Haber:



- Λύση: Αρχικά υπολογίζουμε τα moles της αμμωνίας:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{1000,0 \cdot 10^3 \text{ g}}{17,03 \text{ g/mol}} = 5,872 \cdot 10^4 \text{ mol } NH_3$$



Πρόβλημα #1: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του H_2 τα οποία απαιτούνται για την παρασκευή της παραπάνω ποσότητας NH_3 :

$$5,872 \cdot 10^4 \cancel{\text{mol NH}_3} \times \frac{3 \text{ mol H}_2}{2 \cancel{\text{mol NH}_3}} = 8,808 \cdot 10^4 \text{ mol H}_2$$

- Τέλος, υπολογίζουμε τη μάζα του H_2 :

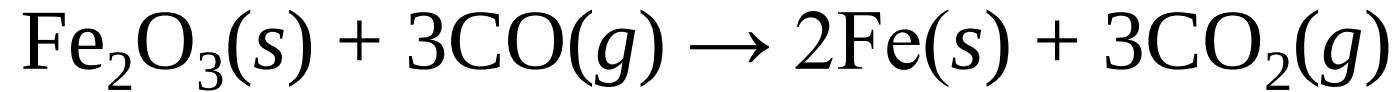
$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 8,808 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 2,02 \text{ g/mol} \Leftrightarrow$$

$$m = 1,78 \cdot 10^5 \text{ g H}_2 \quad \text{ή} \quad 178 \text{ kg H}_2$$



Παράδειγμα 8.9

- Έστω η αντίδραση:



- Πόσα γραμμάρια σιδήρου μπορούν να παραχθούν από 1,00 kg Fe_2O_3 ;

- **Λύση**: Αρχικά υπολογίζουμε τα moles του Fe_2O_3 :

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{1,00 \cdot 10^3 \text{ g}}{159,69 \text{ g/mol}} = 6,26 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3$$



Παράδειγμα 8.9: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του σιδήρου:

$$6,26 \cancel{\text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \times \frac{2 \text{ mol Fe}}{1 \cancel{\text{ mol Fe}_2\text{O}_3}} = 12,5 \text{ mol Fe}$$

- Τέλος, υπολογίζουμε τη μάζα του σιδήρου:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 12,5 \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} \Leftrightarrow$$

$$m = 699 \text{ g Fe}$$



Παράδειγμα 8.10

- Έστω η αντίδραση:



- Πόσα γραμμάρια HCl απαιτούνται για να αντιδράσουν με 5,00 g MnO₂;
- Λύση: Αρχικά υπολογίζουμε τα moles του MnO₂:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{5,00 \text{ g}}{86,94 \text{ g/mol}} = 0,0575 \text{ mol MnO}_2$$



Παράδειγμα 8.10: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του HCl:

$$0,0575 \text{ mol MnO}_2 \times \frac{4 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol MnO}_2} = 0,230 \text{ mol HCl}$$

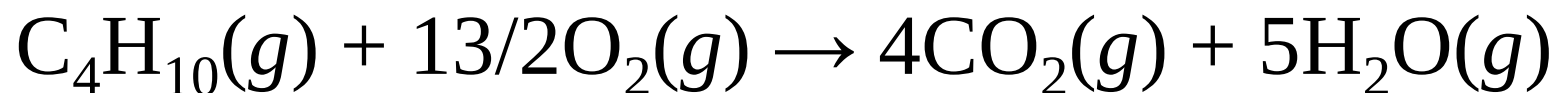
- Τέλος, υπολογίζουμε τη μάζα του HCl:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 0,230 \text{ mol} \cdot 36,46 \text{ g/mol} \Leftrightarrow$$
$$m = 8,39 \text{ g HCl}$$



Παράδειγμα 8.11

- Το βουτάνιο, C_4H_{10} , καίγεται με το οξυγόνο του αέρα προς σχηματισμό CO_2 και H_2O .
- Πόση είναι η ποσότητα του CO_2 μετρημένη σε g η οποία παράγεται κατά την καύση 8,72 g βουτανίου;
- Λύση: Αρχικά γράφουμε την ισοσταθμισμένη εξίσωση καύσης του βουτανίου:



- Έπειτα, υπολογίζουμε τα moles του βουτανίου:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{8,72 \text{ g}}{58,12 \text{ g/mol}} = 0,150 \text{ mol } C_4H_{10}$$



Παράδειγμα 8.11: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του CO_2 :

$$0,150 \text{ mol } \cancel{\text{C}_4\text{H}_{10}} \times \frac{4 \text{ mol CO}_2}{1 \cancel{\text{mol C}_4\text{H}_{10}}} = 0,600 \text{ mol CO}_2$$

- Τέλος, υπολογίζουμε τη μάζα του CO_2 :

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 0,600 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g/mol} \Leftrightarrow$$

$$m = 26,4 \text{ g CO}_2$$



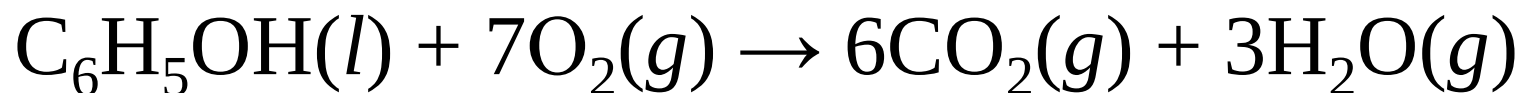
Παράδειγμα 8.12

➤ Να υπολογίσετε τα γραμμάρια του οξυγόνου τα οποία απαιτούνται για την πλήρη καύση των παρακάτω ουσιών, καθώς και τα γραμμάρια του CO_2 τα οποία παράγονται κατά την καύση:

- i. 3,24 g φαινόλης, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$.
- ii. 5,14 g οξικού οξέος, CH_3COOH .
- iii. 2,18 g αιθανόλης, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

➤ Λύση:

- i. Αρχικά γράφουμε την ισοσταθμισμένη εξίσωση καύσης της φαινόλης:





Παράδειγμα 8.12: Λύση

- Κατόπιν υπολογίζουμε τα moles της φαινόλης:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow n = \frac{3,24 \text{ g}}{94,11 \text{ g/mol}} = 0,0344 \text{ mol C}_6\text{H}_5\text{OH}$$

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του οξυγόνου σύμφωνα με την στοιχειομετρία της αντίδρασης:

$$0,0344 \text{ mol C}_6\text{H}_5\text{OH} \times \frac{7 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_5\text{OH}} = 0,241 \text{ mol O}_2$$

- Έπειτα, υπολογίζουμε τα γραμμάρια του O₂:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 0,241 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 7,71 \text{ g O}_2$$



Παράδειγμα 8.12: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του CO_2 σύμφωνα με την στοιχειομετρία της αντίδρασης:

$$0,0344 \text{ mol } \cancel{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}} \times \frac{6 \text{ mol } \text{CO}_2}{1 \text{ mol } \cancel{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}}} = 0,206 \text{ mol } \text{CO}_2$$

- Τέλος, υπολογίζουμε τα γραμμάρια του CO_2 :

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \cdot M = 0,206 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g/mol} = 9,07 \text{ g } \text{CO}_2$$

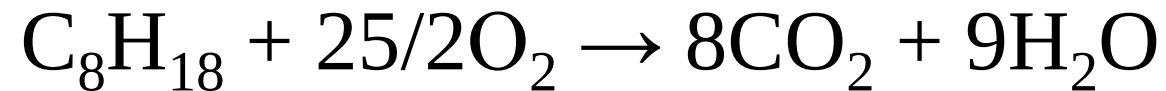
ii. 5,14 g οξικού οξέος, CH_3COOH .

iii. 2,18 g αιθανόλης, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.



Παράδειγμα 8.13

- Να υπολογίσετε την ποσότητα του CO_2 εκφρασμένη σε kg, η οποία εκλύεται κατά την πλήρη καύση 150 L βενζίνης.
- Να θεωρήσετε ότι ο χημικός τύπος της βενζίνης είναι C_8H_{18} και ότι η πυκνότητα της βενζίνης ισούται με 735 kg/m^3 .
- Απάντηση:
- Αρχικά γράφουμε την αντίδραση καύσης του οκτανίου:





Παράδειγμα 8.13: Λύση

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τη μάζα του οκτανίου, από την πυκνότητά του.
- Ισχύει ότι $\rho = 735 \text{ kg/m}^3 = 735 \text{ g/L}$.
- Άρα:

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho V \Leftrightarrow m = 735 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 150 \text{L} = 110250 \text{ g}$$

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα mol του οκτανίου.
- Ισχύει ότι: $M(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114,23 \text{ g/mol}$



Παράδειγμα 8.13: Λύση

- Άρα:
$$n = \frac{m}{M} = \frac{110250 \text{ g}}{114,23 \text{ g/mol}} = 965,158 \text{ mol}$$
- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα mol του CO₂:
- $n(\text{CO}_2) = 8 \times n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 7721,26$
- Τέλος, υπολογίζουμε τη μάζα του CO₂:
$$m = n \cdot M \Leftrightarrow m = 7721,26 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g/mol} = 339813 \text{ g}$$
- Δηλαδή, θα σχηματιστούν 340 kg CO₂.



Περιοριστικό αντιδρών

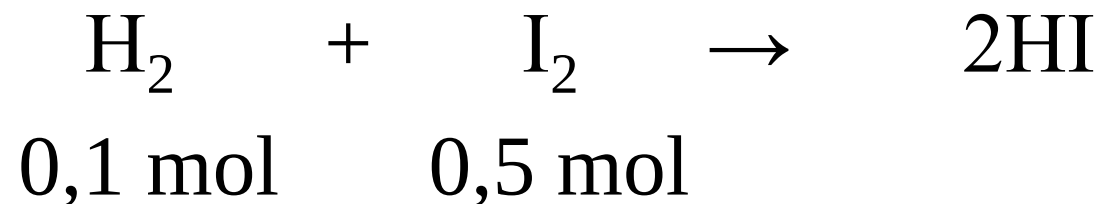
Πρόβλημα #2:

- Σε ένα κλειστό δοχείο τοποθετούνται 7,0 γραμμάρια αζώτου, N_2 , και 3,0 γραμμάρια υδρογόνου, H_2 , σε κατάλληλες συνθήκες ώστε να πραγματοποιηθεί χημική αντίδραση.
- Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια αμμωνίας, NH_3 , θα σχηματιστούν.



Περιοριστικό αντιδρών

- Συχνά στις χημικές αντιδράσεις ένα ή περισσότερα αντιδρώντα προστίθενται σε αναλογίες μεγαλύτερες από τις στοιχειομετρικά απαιτούμενες, π.χ.



- Σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης, η αναλογία moles H_2 και I_2 είναι 1:1.



Περιοριστικό αντιδρών

- Σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$, καθώς και τα αρχικά moles των αντιδρώντων συμπεραίνουμε ότι:
- ✓ ολόκληρη η ποσότητα του H_2 θα αντιδράσει
- ✓ ένα μέρος της ποσότητας του I_2 (συγκεκριμένα 0,4 mol) θα περισσέψει
- ✓ θα σχηματιστούν $2 \times 0,1 = 0,2 \text{ mol HI}$



Περιοριστικό αντιδρών

- Το αντιδρών το οποίο καταναλώνεται πλήρως όταν η αντίδραση φτάσει στο τέρμα της ονομάζεται **περιοριστικό αντιδρών (limiting reactant)**, στο προηγούμενο παράδειγμα το H_2 .
- Ένα αντιδρών το οποίο δεν καταναλώνεται πλήρως ονομάζεται **αντιδρών σε περίσσεια (excess reactant)**, στο προηγούμενο παράδειγμα το I_2 .
- Τα **moles των προϊόντων καθορίζονται πάντοτε από τα αρχικά moles του περιοριστικού αντιδρώντος**, στο προηγούμενο παράδειγμα $0,2 \text{ mol HI}$.



Περιοριστικό αντιδρών

➤ Συχνά καταστρώνουμε ένα πίνακα τιμών ως εξής:

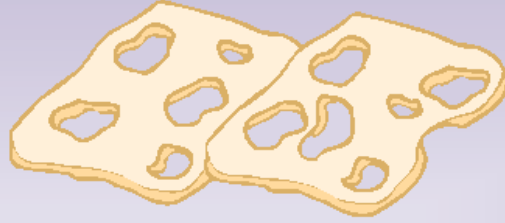
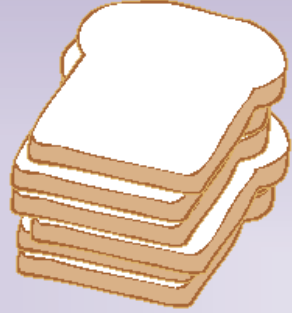
moles	περιοριστικό αντιδρών		αντιδρών σε περίσσεια		→	2HI
	H ₂	+	I ₂			
Αρχικά	0,1		0,5			
Αντιδρούν	− 0,1		− 0,1			
Παράγονται						+ 0,2
Τελικά	0		0,4			0,2

Άρα παράγονται 0,2 mol HI και **περισσεύουν** 0,4 mol I₂

Περιοριστικό αντιδρών

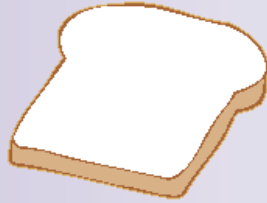


Start



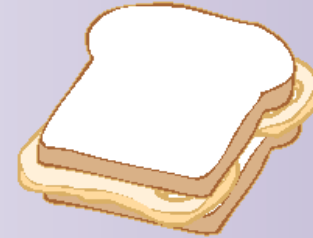
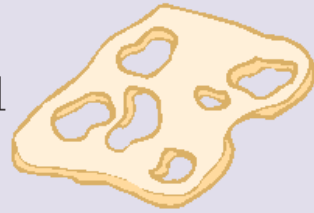
Equation

2

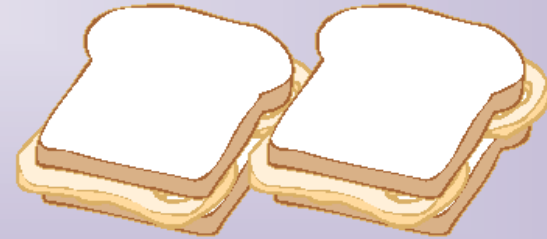
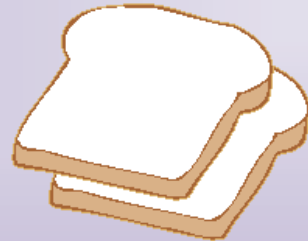


+

1



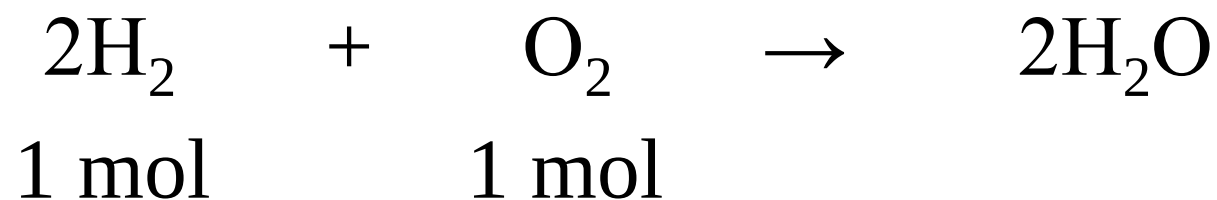
Finish





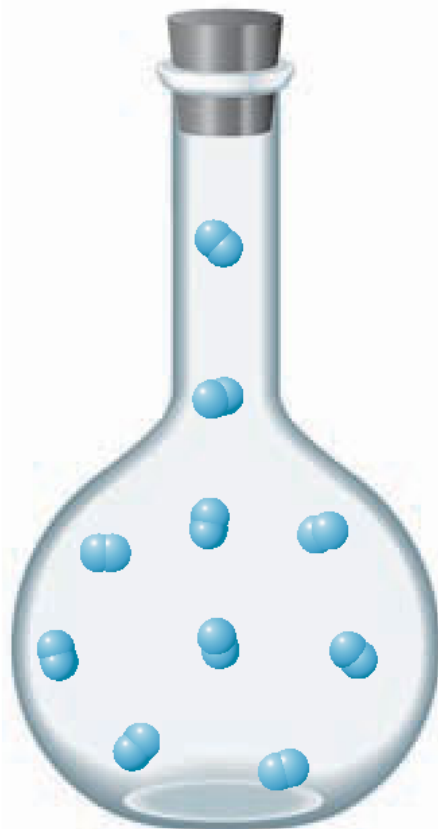
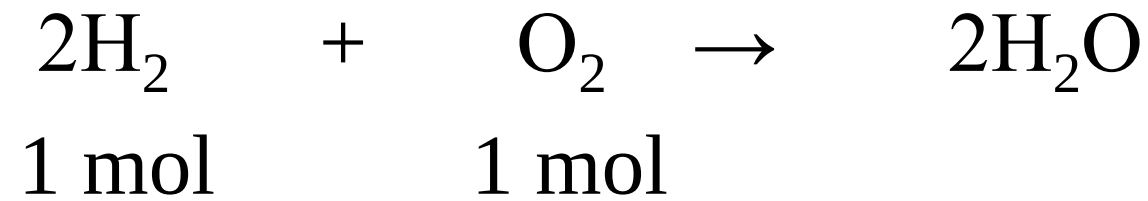
Περιοριστικό αντιδρών

➤ Έστω η αντίδραση:



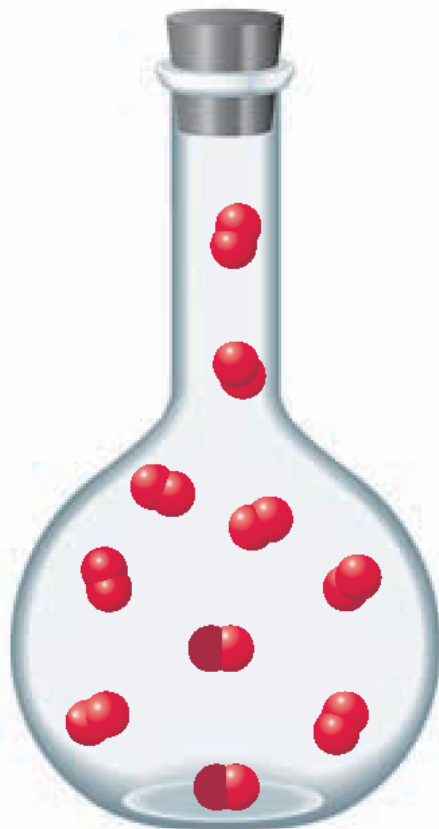
	περιοριστικό αντιδρών		αντιδρών σε περίσσεια		
moles	2H_2	+	O_2	$\rightarrow$	$2\text{H}_2\text{O}$
Αρχικά	1		1		
Αντιδρούν	- 1		- 0,5		
Παράγονται					+ 1
Τελικά	0		0,5		1

Περιοριστικό αντιδρών

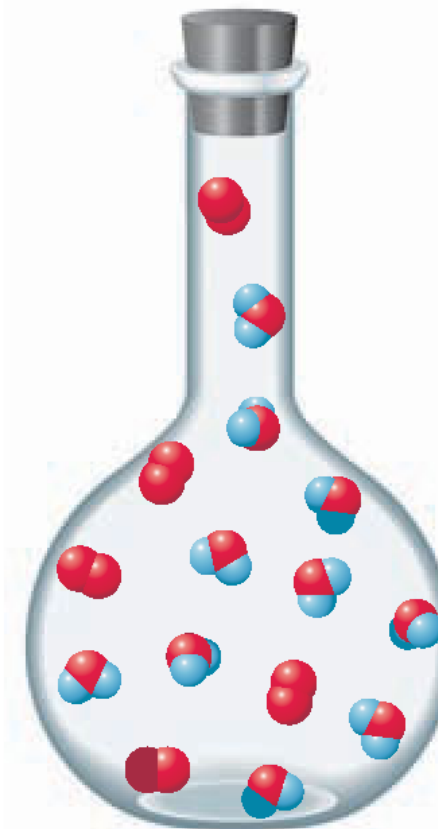


H₂ reactant

+



O₂ reactant



H₂O produced and
O₂ unreacted (excess)



Περιοριστικό αντιδρών

Πρόβλημα #2:

- Σε ένα κλειστό δοχείο τοποθετούνται 7,0 γραμμάρια αζώτου, N_2 , και 3,0 γραμμάρια υδρογόνου, H_2 , σε κατάλληλες συνθήκες ώστε να πραγματοποιηθεί χημική αντίδραση.
- Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια αμμωνίας, NH_3 , θα σχηματιστούν.



Λύση του προβλήματος

➤ Αρχικά μετατρέπουμε τις μάζες των αντιδρώντων σε moles.

$$\text{N}_2: n = \frac{m}{M} = \frac{7,0 \text{ g}}{28,01 \text{ g/mol}} = 0,25 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2: n = \frac{m}{M} = \frac{3,0 \text{ g}}{2,02 \text{ g/mol}} = 1,5 \text{ mol}$$



Λύση του προβλήματος

➤ Στη συνέχεια καταστρώνουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών:

moles	περιοριστικό αντιδρών		αντιδρών σε περίσσεια			
	N ₂	+	3H ₂	→		
Αρχικά	0,25		1,5			
Αντιδρούν	− 0,25		− 0,75			
Παράγονται						+ 0,50
Τελικά	0		0,75			0,50

Άρα παράγονται $0,50 \cdot 17,03 = 8,5 \text{ g NH}_3$ και **περισσεύουν**
 $0,75 \cdot 2,02 = 1,5 \text{ g H}_2$



Παράδειγμα 8.14

- Μεταλλικός ψευδάργυρος και υδροχλωρικό οξύ αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



- Αν προστεθούν 0,30 mol Zn σε υδροχλωρικό οξύ το οποίο περιέχει 0,52 mol HCl, πόσα moles H₂ θα παραχθούν;
- Λύση:
- Καταστρώνουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών:



Παράδειγμα 8.14: Λύση

moles	Zn(s)	+	2HCl(aq)	→	ZnCl ₂ (aq)	+	H ₂ (g)
Αρχικά	0,30		0,52				
Αντιδρούν	−0,26		− 0,52				
Παράγονται					+ 0,26		+ 0,26
Τελικά	0,04		0		0,26		0,26

➤ Η ποσότητα του H₂ η οποία παράγεται είναι 0,26 mol.



Παράδειγμα 8.15

- Έστω η αντίδραση:



- Στο δοχείο της αντίδρασης τοποθετούνται 20,0 g ακεταλδεϋδης, CH_3CHO , και 10,0 g O_2 .
- Πόσα γραμμάρια οξικού οξέος, CH_3COOH , παράγονται;
- Πόσα γραμμάρια από το αντιδρών σε περίσσεια μένουν μετά το τέλος της αντίδρασης;



Παράδειγμα 8.15: Λύση

➤ Αρχικά υπολογίζουμε τα moles των αντιδρώντων:

$$\text{CH}_3\text{CHO}: n = \frac{m}{M} = \frac{20,0 \text{ g}}{44,05 \text{ g/mol}} = 0,454 \text{ mol}$$

$$\text{O}_2: n = \frac{m}{M} = \frac{10,0 \text{ g}}{32,00 \text{ g/mol}} = 0,313 \text{ mol}$$



Παράδειγμα 8.15: Λύση

➤ Στη συνέχεια καταστρώνουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών:

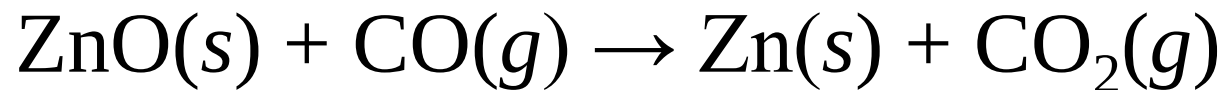
	περιοριστικό αντιδρών	αντιδρών σε περίσσεια	
moles	$2\text{CH}_3\text{CHO}$	$+\text{O}_2$	$\rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}$
Αρχικά	0,454	0,313	
Αντιδρούν	$-0,454$	$-0,227$	
Παράγονται			$+0,454$
Τελικά	0	0,086	0,454

Άρα **παράγονται** $0,454 \cdot 60,05 = 27,3 \text{ g CH}_3\text{COOH}$ και **περισσεύουν**
 $0,086 \cdot 32,00 = 2,8 \text{ g O}_2$



Παράδειγμα 8.16

- Έστω οι αντιδράσεις:



- Πόση είναι η μέγιστη ποσότητα ψευδαργύρου η οποία μπορεί να ληφθεί από 75,0 g οξειδίου του ψευδαργύρου και 50,0 g άνθρακα;
- Λύση:
- Αρχικά υπολογίζουμε τα moles του άνθρακα:

$$\text{C: } n = \frac{m}{M} = \frac{50,0 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 4,16 \text{ mol}$$



Παράδειγμα 8.16: Λύση

- Με βάση τη στοιχειομετρία της πρώτης αντίδρασης τα moles του CO είναι:

$$4,16 \text{ mol C} \times \frac{2 \text{ mol CO}}{2 \text{ mol C}} = 4,16 \text{ mol CO}$$

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα moles του οξειδίου του ψευδαργύρου:

$$\text{ZnO: } n = \frac{m}{M} = \frac{75,0 \text{ g}}{81,38 \text{ g/mol}} = 0,922 \text{ mol}$$

- Στη συνέχεια καταστρώνουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών:



Παράδειγμα 8.16: Λύση

moles	περιοριστικό αντιδρών ZnO	+	αντιδρών σε περίσσεια CO	→	Zn	+	CO ₂
Αρχικά	0,922		4,16				
Αντιδρούν	−0,922		− 0,922				
Παράγονται					+ 0,922		+ 0,922
Τελικά	0		3,238		0,922		0,922

- Άρα η μέγιστη ποσότητα ψευδαργύρου η οποία μπορεί να ληφθεί είναι 0,922 mol ή $0,922 \cdot 65,38 = 60,3$ g Zn.



Παράδειγμα 8.17

- Ένα μίγμα μάζας 0,500 g αποτελείται από Cu_2O και CuO και περιέχει 0,425 g Cu.
- Να υπολογίσετε τη μάζα του CuO στο μίγμα;
- Λύση:
- Έστω x και y η μάζα του Cu_2O και του CuO , αντίστοιχα.
- Θα ισχύει ότι: $x + y = 0,500$
- Για το Cu_2O ισχύει ότι:
$$1 \text{ mol Cu}_2\text{O} \text{ περιέχει } 2 \text{ mol Cu ή}$$
$$143,09 \text{ g Cu}_2\text{O} \text{ περιέχουν } 2 \cdot 63,55 = 127,10 \text{ g Cu}$$



Παράδειγμα 8.17: Λύση

- Άρα, η μάζα του χαλκού στο μίγμα η οποία προέρχεται από το Cu_2O θα είναι:

$$x \cancel{\text{g Cu}_2\text{O}} \times \frac{127,10 \text{ g Cu}}{143,09 \cancel{\text{g Cu}_2\text{O}}} = 0,88825x \text{ g Cu}$$

- Ομοίως, για το CuO ισχύει ότι:

1 mol CuO περιέχει 1 mol Cu ή

79,55 g CuO περιέχουν 63,55 g Cu

- Άρα, η μάζα του χαλκού στο μίγμα η οποία προέρχεται από το CuO θα είναι:

$$y \cancel{\text{g CuO}} \times \frac{63,55 \text{ g Cu}}{79,55 \cancel{\text{g CuO}}} = 0,7989y \text{ g Cu}$$



Παράδειγμα 8.17: Λύση

- Άρα έχουμε το εξής σύστημα εξισώσεων:

$$x + y = 0,500$$

$$0,88825x + 0,7989y = 0,425$$

- Λύνοντας το σύστημα έχουμε:

$$x = 0,286 \text{ και } y = 0,214$$

- Άρα η μάζα του CuO στο μίγμα είναι 0,214 g.



Θεωρητική και πραγματική απόδοση

- Η **θεωρητική απόδοση** ενός προϊόντος είναι η μέγιστη ποσότητα προϊόντος η οποία μπορεί να ληφθεί σε μια αντίδραση από δεδομένες ποσότητες αντιδρώντων.
- Η **πραγματική απόδοση** ενός προϊόντος είναι αυτή η οποία προσδιορίζεται πειραματικά.
- Συνήθως η πραγματική απόδοση είναι μικρότερη της θεωρητικής λόγω:
 - ✓ απωλειών κατά το διαχωρισμό των προϊόντων
 - ✓ παράλληλων ανταγωνιστικών αντιδράσεων
 - ✓ χημικής ισορροπίας



Εκατοστιαία απόδοση

- Η εκατοστιαία απόδοση ενός προϊόντος είναι το επί τοις εκατό πηλίκο της πραγματικής απόδοσης προς τη θεωρητική απόδοση:

$$\text{Εκατοστιαία απόδοση} = \frac{\text{πραγματική απόδοση}}{\text{θεωρητική απόδοση}} \times 100$$

- Αν στο Παράδειγμα 8.14 η πραγματική απόδοση σε CH_3COOH ήταν 23,8 g, τότε:

$$\text{Εκατοστιαία απόδοση σε } \text{CH}_3\text{COOH} = \frac{23,8}{27,3} \times 100 = 87,2\%$$



Παράδειγμα 8.18

- Έστω η αντίδραση της μεθανόλης, CH_3OH , με μονοξείδιο του άνθρακα, CO , προς σχηματισμό οξικού οξέος, CH_3COOH :
$$\text{CH}_3\text{OH}(l) + \text{CO}(g) \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}(l)$$
- Σε ένα πείραμα, 15,0 g μεθανόλης και 10,0 g μονοξειδίου του άνθρακα εισάγονται στο δοχείο της αντίδρασης.
- Πόση είναι η θεωρητική απόδοση σε οξικό οξύ;
- Αν η πραγματική απόδοση είναι 19,1 g, πόση είναι η εκατοστιαία απόδοση;



Παράδειγμα 8.18: Λύση

➤ Αρχικά υπολογίζουμε τα moles των αντιδρώντων:

$$\text{CH}_3\text{OH}: n = \frac{m}{M} = \frac{15,0 \text{ g}}{32,04 \text{ g/mol}} = 0,468 \text{ mol}$$

$$\text{CO}: n = \frac{m}{M} = \frac{10,0 \text{ g}}{28,01 \text{ g/mol}} = 0,357 \text{ mol}$$



Παράδειγμα 8.18: Λύση

➤ Στη συνέχεια, καταστρώνουμε τον ακόλουθο πίνακα τιμών:

moles	αντιδρών σε περίσσεια	περιοριστικό αντιδρών		
	CH_3OH	+	CO	$\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$
Αρχικά	0,468		0,357	
Αντιδρούν	- 0,357		-0,357	
Παράγονται				+ 0,357
Τελικά	0,111		0	0,357

Άρα **παράγονται** $0,357 \cdot 60,05 = 21,4 \text{ g CH}_3\text{COOH}$ και **περισσεύουν**
 $0,111 \cdot 32,04 = 3,56 \text{ g CO}$



Παράδειγμα 8.18: Λύση

- Η εκατοστιαία απόδοση σε οξικό οξύ είναι:

$$\text{Εκατοστιαία απόδοση σε CH}_3\text{COOH} = \frac{19,1}{21,4} \times 100 = 89,3\%$$



Μαθησιακά Αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να υπολογίζετε τη μοριακή και την τυπική μάζα των μοριακών και των ιοντικών ενώσεων, αντίστοιχα.
- ✓ Να μετατρέπετε τα γραμμάρια σε moles και αντίστροφα χρησιμοποιώντας τις γραμμομοριακές μάζες.
- ✓ Να μετατρέπετε τον αριθμό των μορίων σε moles και αντίστροφα χρησιμοποιώντας τον αριθμό Avogadro.
- ✓ Να ισοσταθμίζετε τις χημικές εξισώσεις.



Μαθησιακά Αποτελέσματα

- ✓ Να υπολογίζετε την ποσότητα των αντιδρώντων ή/και των προϊόντων μίας χημικής αντίδρασης, εκφρασμένη τόσο σε γραμμάρια όσο και σε moles.
- ✓ Να αναγνωρίζετε το περιοριστικό αντιδρών σε μία χημική αντίδραση και να επιλύετε τα σχετικά στοιχειομετρικά προβλήματα.
- ✓ Να υπολογίζετε την επί τοις εκατό απόδοση μίας χημικής αντίδρασης.



Άσκηση 8.1

- Να υπολογίσετε τη μάζα σε γραμμάρια καθεμιάς από τις παρακάτω οντότητες:
- i. ένα άτομο Na
 - ii. ένα άτομο N
 - iii. ένα μόριο CH_3Cl
 - iv. μία τυπική μονάδα $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$



Άσκηση 8.2

➤ Να υπολογίσετε τη μάζα σε γραμμάρια καθεμιάς από τις παρακάτω οντότητες:

- i. ένα μόριο PBr_3
- ii. ένα άτομο Te
- iii. ένα άτομο Br
- iv. μία τυπική μονάδα $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- v. ένα μόριο $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$
- vi. ένα μόριο $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
- vii. μία τυπική μονάδα $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Άσκηση 8.3



- Η ανάλυση ενός διαλύματος H_2O_2 δείχνει ότι σε 1,00 L διαλύματος υπάρχουν 0,909 mol H_2O_2 .
- Πόση είναι η μάζα του υπεροξειδίου του υδρογόνου σε αυτό τον όγκο διαλύματος;



Άσκηση 8.4

➤ Να υπολογίσετε τη μάζα των παρακάτω ουσιών σε γραμμάρια:

i. 0,331 mol Fe

ii. 0,15 mol Na

iii. 2,1 mol F

iv. 0,594 mol S

v. 0,034 mol CO₂

vi. 2,78 mol CH₂Cl₂

vii. 1,89 mol K₂CrO₄

viii. 38 mol (NH₄)₂S

ix. 0,543 mol H₃BO₃



Άσκηση 8.5

➤ Βρείτε τα moles για καθεμιά από τις παρακάτω ουσίες:

i. 76 g C_4H_{10}

ii. 7,05 g Cl_2

iii. 26,2 g $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$

iv. 2,86 g C

v. 2,57 g As

vi. 33,8 g N_2H_4

vii. 7,83 g S_8

viii. 227 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Άσκηση 8.6

- Ένα δείγμα γαλάζιου πενταϋδρικού θεικού χαλκού(II), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, μάζας 1,547 g, θερμαίνεται προσεκτικά για να εκδιωχθεί το νερό.
- Οι λευκοί κρύσταλλοι του CuSO_4 που απομένουν, έχουν μάζα 0,989 g.
- Πόσα moles H_2O υπήρχαν στο αρχικό δείγμα;
- Δείξτε ότι οι σχετικές ποσότητες των moles του CuSO_4 και του H_2O συμφωνούν με τον τύπο του υδρίτη.

Άσκηση 8.7



➤ Υπολογίστε τα ακόλουθα:

- i. αριθμός ατόμων σε 8,21 g Li
- ii. αριθμός ατόμων σε 32,0 g Br₂
- iii. αριθμός μορίων σε 45 g NH₃
- iv. αριθμός τυπικών μονάδων σε 201 g PbCrO₄
- v. αριθμός ιόντων SO₄²⁻ σε 14,3 g Cr₂(SO₄)₃
- vi. αριθμός ιόντων Ca²⁺ σε 4,71 g Ca₃(PO₄)₂
- vii. αριθμός μορίων σε 14,9 g N₂O₅
- viii. αριθμός τυπικών μονάδων σε 2,99 g NaClO₄
- ix. αριθμός ατόμων σε 5,66 g I₂

Άσκηση 8.8



- Ένα δείγμα γαιάνθρακα, μάζας 1,836 g, περιέχει 1,584 g C.
- Υπολογίστε την εκατοστιαία περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε C.



Άσκηση 8.9

- Το θαλασσινό νερό περιέχει κατά μάζα 0,0065% βρώμιο.
- Πόσα γραμμάρια βρωμίου υπάρχουν σε 2,50 L θαλασσινού νερού;
- Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι $1,025 \text{ g/cm}^3$.

Άσκηση 8.10

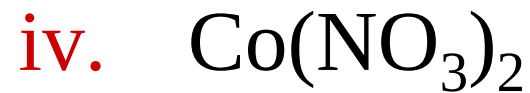


- Ένα λίπασμα διαφημίζεται ότι περιέχει άζωτο 14,0% κατά μάζα.
- Πόσο άζωτο υπάρχει σε 4,15 kg λιπάσματος;

Άσκηση 8.11



➤ Να υπολογίσετε την εκατοστιαία περιεκτικότητα των παρακάτω ενώσεων:





Άσκηση 8.12

- Πόσα γραμμάρια άνθρακα υπάρχουν σε 83,5 g φορμαλδεΰδης, CH_2O ;
- Πόσα γραμμάρια αζώτου υπάρχουν σε ένα λίπασμα που περιέχει 48,5 g νιτρικού αμμωνίου, NH_4NO_3 ;

Άσκηση 8.13



- Ποιο περιέχει περισσότερο θείο, 40,8 g θειικού ασβεστίου, CaSO_4 ή 38,8 g θειώδους νατρίου, Na_2SO_3 ;

Άσκηση 8.14

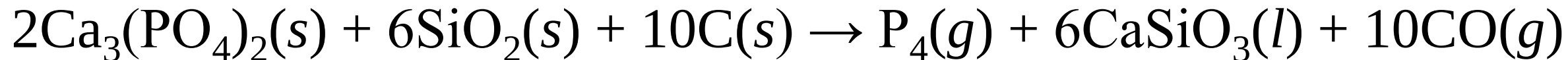


- Να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια νατρίου απαιτούνται για να παραχθούν 7,81 g υδρογόνου κατά την αντίδραση του νατρίου με το νερό προς σχηματισμό υδρογόνου και διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου.



Άσκηση 8.15

- Ο λευκός φώσφορος, P_4 , παρασκευάζεται από σύντηξη φωσφορικού ασβεστίου, $Ca_3(PO_4)_2$, με άνθρακα, C και άμμο, SiO_2 , σε ηλεκτρική κάμινο.

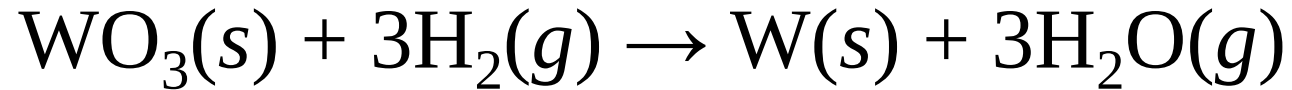


- Πόσα γραμμάρια φωσφορικού ασβεστίου χρειάζονται για να δώσουν 30,0 g φωσφόρου;



Άσκηση 8.16

- Στους λαμπτήρες πυράκτωσης, τα νήματα είναι φτιαγμένα από βολφράμιο, W.
- Το μέταλλο αυτό παράγεται από την αντίδραση του κίτρινου οξειδίου του βολφραμίου(VI), WO_3 , με υδρογόνο.



- Πόσα γραμμάρια βολφραμίου μπορούν να ληφθούν από 4,81 kg υδρογόνου και περίσσεια οξειδίου του βολφραμίου(VI);

Άσκηση 8.17



- Κατά τη θέρμανση του σουλφιδίου του ψευδαργύρου, ZnS , με οξυγόνο, παράγεται οξείδιο του ψευδαργύρου, ZnO , και διοξείδιο του θείου, SO_2 .
- Να υπολογίσετε πόσα κιλά αερίου οξυγόνου ενώνονται με 5,00 kg ZnS .



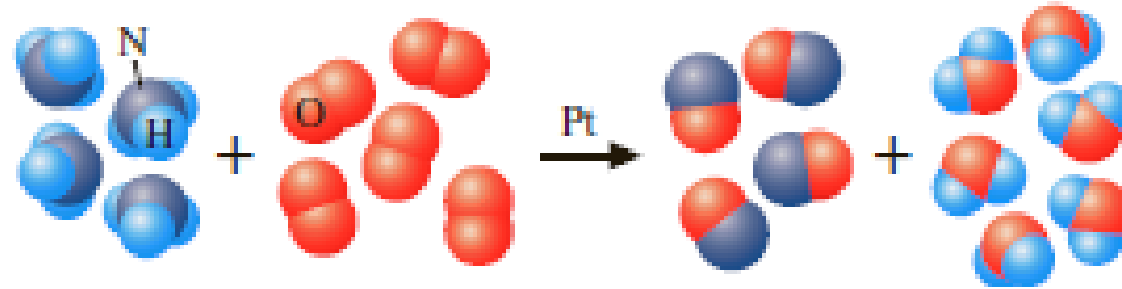
Άσκηση 8.18

- Κατά την θέρμανση οξειδίου του υδραργύρου (II), HgO , παράγεται μεταλλικός υδράργυρος, Hg , και οξυγόνο.
- Αν παράγονται 6,47 g οξυγόνου, να υπολογίσετε πόσα γραμμάρια υδραργύρου έχουν ταυτόχρονα παραχθεί.



Άσκηση 8.19

- Στην ακόλουθη αντίδραση, η οποία παρουσιάζεται με μοριακά μοντέλα, η αμμωνία αντιδρά με οξυγόνο, παρουσία καταλύτη λευκοχρύσου, προς σχηματισμό οξειδίου του αζώτου:



- Αν στο δοχείο της αντίδρασης υπάρχουν 5,5 g NH_3 , πόσα γραμμάρια O_2 απαιτούνται για την ολοκλήρωση της αντίδρασης;



Άσκηση 8.20

- Όταν το πεντοξείδιο του διαζώτου, N_2O_5 , (ένα λευκό στερεό) θερμανθεί, διασπάται σε διοξείδιο του αζώτου και οξυγόνο:

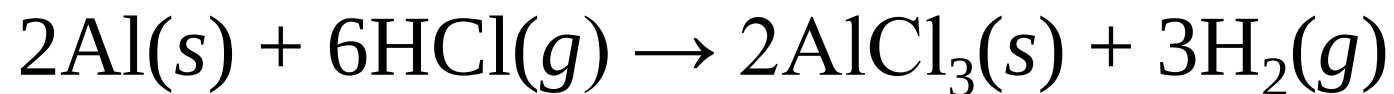


- Αν ένα δείγμα N_2O_5 παράγει 1,381 g O_2 , πόσα γραμμάρια NO_2 σχηματίζονται;



Άσκηση 8.21

- Έστω η παρακάτω αντίδραση:

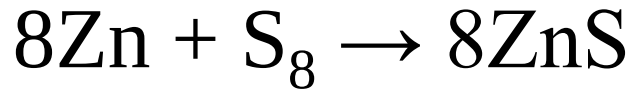


- Έστω ότι το δοχείο της αντίδρασης περιέχει 0,15 mol Al και 0,35 mol HCl. Πόσα mol AlCl_3 μπορούν να παρασκευαστούν από αυτό το μίγμα;



Άσκηση 8.22

- Σε ένα πείραμα, θερμαίνονται 7,36 g ψευδαργύρου με 6,45 g θείου, τα οποία αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



- Πόση ποσότητα σουλφιδίου του ψευδαργύρου παράχθηκε;



Άσκηση 8.23

- Διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου, NaClO , πωλούνται ως λευκαντικά (π.χ. χλωρίνη). Αυτά παρασκευάζονται κατά την αντίδραση χλωρίου με υδροξείδιο του νατρίου.

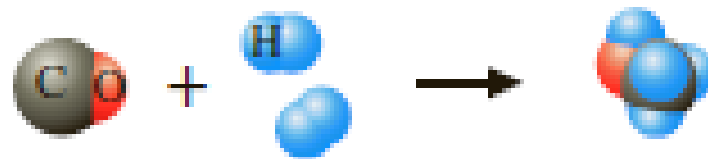


- Αν έχετε 1,44 mol NaOH σε διάλυμα και 1,47 mol αέριο Cl_2 , διαθέσιμο για αντίδραση, ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών;
- Πόσα moles $\text{NaClO}(aq)$ θα μπορούσαν να ληφθούν το πολύ;



Άσκηση 8.24

- Η μεθανόλη, CH_3OH , παρασκευάζεται βιομηχανικά μέσω της καταλυτικής ισοσταθμισμένης αντίδρασης που απεικονίζεται παρακάτω με μοριακά μοντέλα:

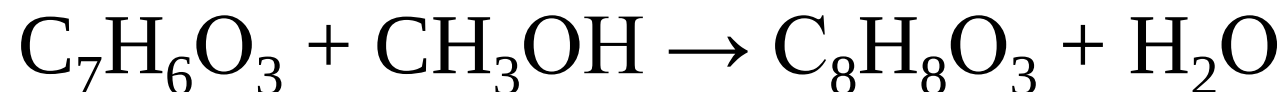


- Σε μια εργαστηριακή δοκιμή, το δοχείο της αντίδρασης πληρώθηκε με 35,4 g CO και 10,2 g H_2 .
- Πόσα γραμμάρια μεθανόλης θα λαμβάνονταν από μια πλήρη αντίδραση; Ποιο αντιδρών και σε πόση ποσότητα μένει αναλλοίωτο στο τέλος της αντίδρασης;



Άσκηση 8.25

- Το σαλικυλικό μεθύλιο παρασκευάζεται κατά τη θέρμανση σαλικυλικού οξέος, $C_7H_6O_3$, με μεθανόλη, CH_3OH :

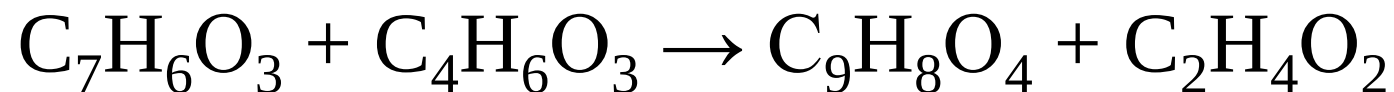


- Σε κάποιο πείραμα, 2,50 g σαλικυλικού οξέος αντιδρούν με 10,31 g μεθανόλης.
- Η απόδοση σε σαλικυλικό μεθύλιο, $C_8H_8O_3$, είναι 1,27 g.
- Πόση είναι η εκατοστιαία απόδοση;



Άσκηση 8.26

- Η ασπιρίνη (ακετυλοσαλικυλικό οξύ) παρασκευάζεται κατά τη θέρμανση σαλικυλικού οξέος, $C_7H_6O_3$, με οξικό ανυδρίτη, $C_4H_6O_3$. Το άλλο προϊόν είναι οξικό οξύ, $C_2H_4O_2$.



- Πόση είναι η θεωρητική απόδοση (σε γραμμάρια) της ασπιρίνης, $C_9H_8O_4$, όταν 2,00 g σαλικυλικού οξέος θερμαίνονται με 4,00 g οξικού ανυδρίτη;
- Αν η πραγματική απόδοση σε ασπιρίνη είναι 1,86 g, πόση είναι η εκατοστιαία απόδοση;

Άσκηση 8.27



- Δείγμα 3,41 g ενός μεταλλικού στοιχείου, M, αντιδρά πλήρως με 0,0158 mol ενός αερίου, X_2 και σχηματίζει 4,52 g MX.
- Ποια είναι τα στοιχεία M και X;