

Στοιχειομετρία: Ποσοτικές σχέσεις σε χημικές αντιδράσεις

ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός αυτής της ενότητας είναι να μάθουμε:

1. Να ερμηνεύουμε με όρους γραμμομορίων μια χημική εξίσωση.
2. Να κάνουμε στοιχειομετρικούς υπολογισμούς, δηλαδή να υπολογίζουμε τις ποσότητες αντιδρώντων και προϊόντων μιας χημικής αντίδρασης.
3. Να βρίσκουμε το περιοριστικό αντιδρών σε μια χημική αντίδραση και να υπολογίζουμε την απόδοσή της.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο, θα μπορείτε να:

- ❖ Συσχετίζετε τους συντελεστές μιας ισοσταθμισμένης χημικής εξίσωσης με τον αριθμό των μορίων ή των moles των ουσιών (γραμμομοριακή ερμηνεία).
- ❖ Χρησιμοποιείτε τους συντελεστές μιας χημικής εξίσωσης σε στοιχειομετρικούς υπολογισμούς.
- ❖ Συσχετίζετε την ποσότητα αντιδρώντος προς την ποσότητα προϊόντος ή την ποσότητα δύο προϊόντων ή δύο αντιδρώντων.
- ❖ Κατανοείτε τον ρόλο του περιοριστικού αντιδρώντος στον καθορισμό των moles ενός προϊόντος.
- ❖ Υπολογίζετε την περίσσεια αντιδρώντος που μένει αναλλοίωτη στο τέλος μιας αντίδρασης.
- ❖ Ορίζετε και να υπολογίζετε τη θεωρητική και εκατοστιαία απόδοση μιας χημικής αντίδρασης.

Έννοιες κλειδιά

- ❖ Εκατοστιαία απόδοση
- ❖ Θεωρητική απόδοση
- ❖ Περιοριστικό αντιδρών
- ❖ Στοιχειομετρία

Ebbing – Gammon (Ενότητες)

3.6 Γραμμομοριακή ερμηνεία μιας χημικής εξίσωσης

3.7 Ποσότητες ουσιών σε μια χημική αντίδραση

3.8 Περιοριστικό αντιδρών: θεωρητικές και εκατοστιαίες αποδόσεις

3.6 Γραμμομοριακή ερμηνεία μιας χημικής εξίσωσης

Στοιχειομετρία: είναι ο υπολογισμός των ποσοτήτων αντιδρώντων και προϊόντων, οι οποίες εμπλέκονται σε μια χημική αντίδραση.

Μια χημική εξίσωση μπορούμε να την ερμηνεύσουμε χρησιμοποιώντας, ανάλογα με τις ανάγκες μας,

(α) αριθμούς μορίων (ή ιόντων ή τυπικών μονάδων),

(β) αριθμούς moles,

(γ) μάζες σε γραμμάρια

Π.χ. Βιομηχανική παραγωγή αμμωνίας κατά τη μέθοδο Haber



1 μόριο N_2 + 3 μόρια H_2 \rightarrow 2 μόρια NH_3 (μοριακή ερμηνεία)

1 mol N_2 + 3 mol H_2 \rightarrow 2 mol NH_3 (γραμμομοριακή ερμηνεία)

28,0 g N_2 + 3 × 2,02 g H_2 \rightarrow 2 × 17,0 g NH_3 (ερμηνεία με μάζες)

Προσοχή: Όλοι οι στοιχειομετρικοί υπολογισμοί στηρίζονται στους συντελεστές (λάθος συντελεστές \Rightarrow λάθος αποτελέσματα)

3.7 Ποσότητες ουσιών σε μια χημική αντίδραση

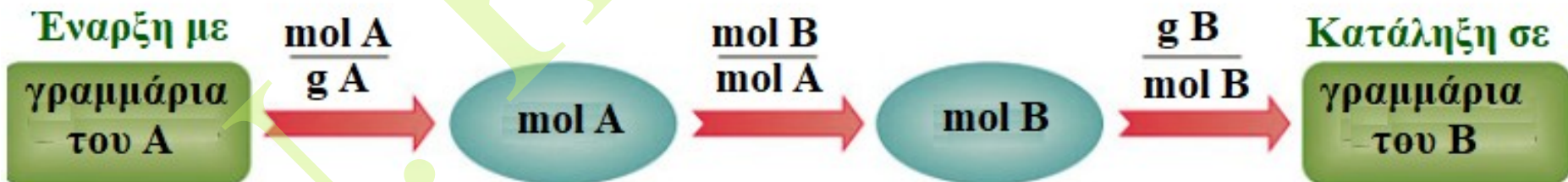
Οι αριθμητικοί συντελεστές σε μια ισοσταθμισμένη χημική εξίσωση παριστάνουν τις γραμμομοριακές σχέσεις μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων.

Οι σχέσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συντελεστές μετατροπής κατά την εκτέλεση των υπολογισμών.

Εφαρμόζουμε τη μέθοδο των συντελεστών μετατροπής!

Βήματα ενός στοιχειομετρικού υπολογισμού

Μετατρέπουμε τη μάζα της ουσίας A μιας αντίδρασης σε moles της ουσίας A, μετά σε moles της άλλης ουσίας B και τέλος σε γραμμάρια της ουσίας B.



Παράδειγμα 3.13

Συσχέτιση της ποσότητας αντιδρώντος προς την ποσότητα προϊόντος

Το νιτρικό οξύ παράγεται με τη μέθοδο Ostwald, κατά την οποία αντιδρά διοξείδιο του αζώτου με νερό: $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$

Πόσα γραμμάρια NO_2 απαιτούνται σε αυτή την αντίδραση για να παραχθούν 7,50 g HNO_3 ;

Απάντηση (επίλυση με τη μέθοδο των συντελεστών μετατροπής)



1 mol HNO_3 ισοδυναμεί με 63,02 g HNO_3 (από τη μοριακή μάζα του HNO_3)

1 mol NO_2 ισοδυναμεί με 46,01 g NO_2 (από τη μοριακή μάζα του NO_2)

3 mol NO_2 αντιστοιχούν σε 2 mol HNO_3 (βάσει της εξίσωσης)

$$7,50 \text{ g HNO}_3 \times \frac{1 \text{ mol HNO}_3}{63,02 \text{ g HNO}_3} \times \frac{3 \text{ mol NO}_2}{2 \text{ mol HNO}_3} \times \frac{46,01 \text{ g NO}_2}{1 \text{ mol NO}_2}$$
$$= 8,213 \text{ g NO}_2 \approx 8,21 \text{ g NO}_2$$

Παράδειγμα 3.13

Συσχέτιση της ποσότητας αντιδρώντος προς την ποσότητα προϊόντος

Το νιτρικό οξύ παράγεται με τη μέθοδο Ostwald, κατά την οποία αντιδρά διοξείδιο του αζώτου με νερό: $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$

Πόσα γραμμάρια NO_2 απαιτούνται σε αυτή την αντίδραση για να παραχθούν 7,50 g HNO_3 ;

Απάντηση (επίλυση με την απλή μέθοδο των τριών)

1 mol HNO_3 ισοδυναμεί με 63,02 g HNO_3

τα 2 mol HNO_3 ισοδυναμούν με $2 \times 63,02 \text{ g} \Rightarrow x = 126,04 \text{ g HNO}_3$

1 mol NO_2 ισοδυναμεί με 46,01 g NO_2

τα 3 mol NO_2 ισοδυναμούν με $y \text{ g NO}_2 \Rightarrow y = 138,03 \text{ g NO}_2$

Τα 126,04 g HNO_3 λαμβάνονται από την αντίδραση 138,03 g NO_2

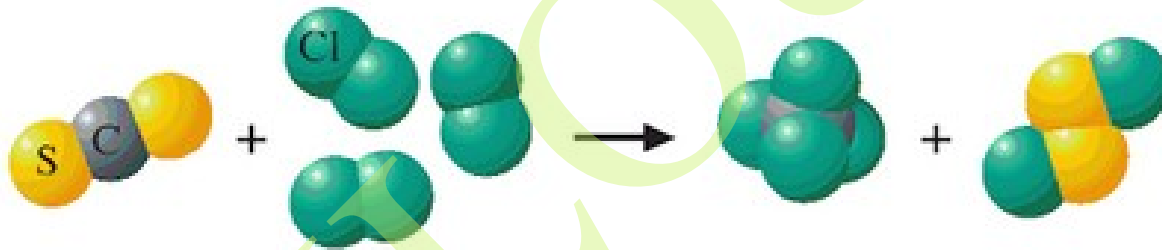
τα 7,50 g HNO_3 λαμβάνονται από την αντίδραση $z \text{ g NO}_2$

$$z = \frac{138,03 \text{ g NO}_2 \times 7,50 \text{ g HNO}_3}{126,04 \text{ g HNO}_3} = 8,213 \text{ g} \approx 8,21 \text{ g HNO}_3$$

Παράδειγμα 3.14

Συσχέτιση της ποσότητας δύο αντιδρώντων (ή δύο προϊόντων)

Η ακόλουθη αντίδραση, που παρουσιάζεται από μοριακά μοντέλα, χρησιμοποιείται για την παραγωγή τετραχλωριδίου του άνθρακα, CCl_4 , ο οποίος είναι ένας καλός διαλύτης και πρώτη ύλη για την παραγωγή φθορανθράκων και προωθητικών αερολυμάτων (αεροζόλ).

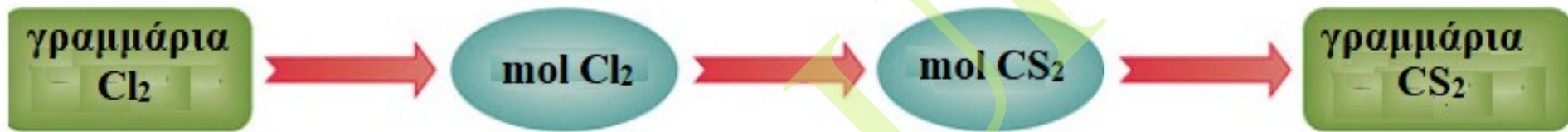


Πόσα γραμμάρια δισουλφιδίου του άνθρακα, CS_2 , απαιτούνται σε μια αντίδραση με 62,7 g χλωρίου;

Παράδειγμα 3.14 (συνέχεια)

Συσχέτιση της ποσότητας δύο αντιδρώντων (ή δύο προϊόντων)

Απάντηση



1 mol Cl₂ ισοδυναμεί με 70,90 g Cl₂ (από τη μοριακή μάζα του Cl₂)

1 mol CS₂ ισοδυναμεί με 76,15 g CS₂ (από τη μοριακή μάζα του CS₂)

3 mol Cl₂ αντιστοιχούν σε 1 mol CS₂ (βάσει της εξίσωσης)

$$62,7 \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{70,90 \text{ g Cl}_2} \times \frac{1 \text{ mol CS}_2}{3 \text{ mol Cl}_2} \times \frac{76,15 \text{ g CS}_2}{1 \text{ mol CS}_2}$$
$$= 22,448 \text{ g CS}_2 \approx 22,4 \text{ g CS}_2$$

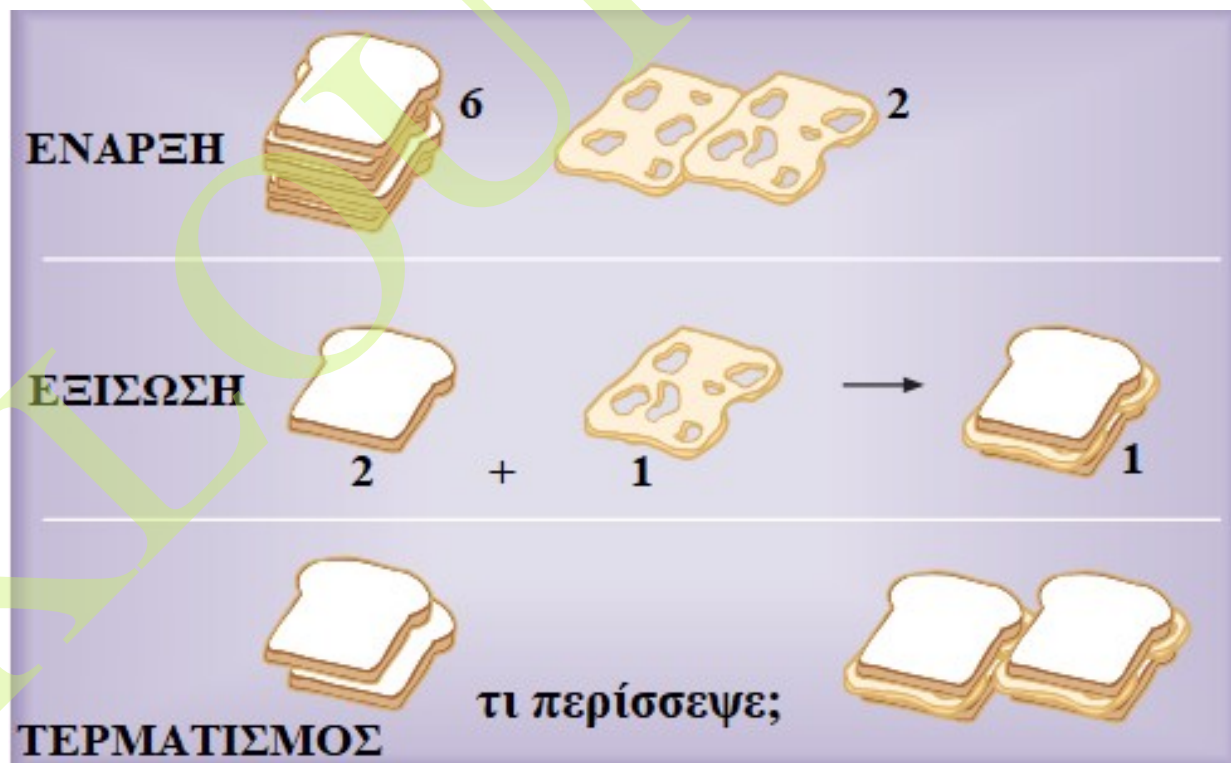
3.8 Περιοριστικό αντιδρών

Περιοριστικό αντιδρών (π.α.): το αντιδρών που καταναλώνεται πλήρως, όταν η αντίδραση φθάσει στο τέρμα της.

Αντιδρών σε περίσσεια: το αντιδρών που περισσεύει, όταν η αντίδραση φθάσει στο τέρμα της.

Ερμηνεία του περιοριστικού αντιδρώντος μέσω της ... δημιουργίας σάντουιτς

2 φέτες ψωμί +
1 φέτα τυρί ⇒
1 σάντουιτς



Προσοχή! Τα moles των προϊόντων καθορίζονται πάντοτε από τα αρχικά moles του περιοριστικού αντιδρώντος.

Παράδειγμα 3.15

Υπολογισμοί με περιοριστικό αντιδρών (ποσότητες σε moles)

Το ανώτερο υπεροξείδιο του καλίου, KO_2 , χρησιμοποιείται σε αναπνευστικές μάσκες ως γεννήτρια οξυγόνου.



Αν ένα δοχείο αντίδρασης περιέχει 0,25 mol KO_2 και 0,15 mol H_2O , ποιο είναι το περιοριστικό αντιδραστήριο; Πόσα moles οξυγόνου μπορούν να παραχθούν;

Απάντηση

Υπολογίζουμε τα moles του O_2 που δίνει το KO_2 και το H_2O .

Αυτό που δίνει τη μικρότερη ποσότητα O_2 είναι το π.α.

$$0,25 \text{ mol KO}_2 \times \frac{3 \text{ mol O}_2}{4 \text{ mol KO}_2} = 0,187 \text{ mol O}_2$$

$$0,15 \text{ mol H}_2\text{O} \times \frac{3 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0,225 \text{ mol O}_2$$

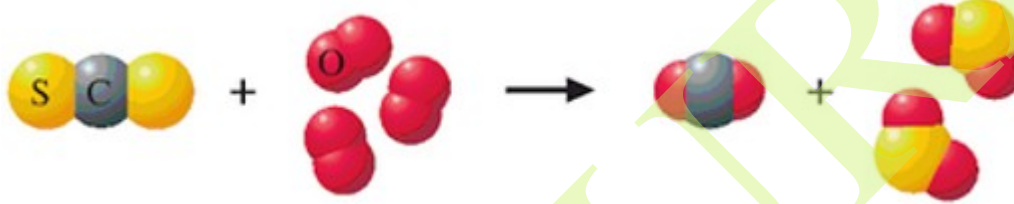
Περιοριστικό αντιδρών είναι το KO_2 .

Θα παραχθούν $0,187 \approx 0,19 \text{ mol O}_2$

Παράδειγμα 3.16

Υπολογισμοί με περιοριστικό αντιδρών (ποσότητες σε γραμμάρια)

Το δισουλφίδιο του άνθρακα καίγεται με οξυγόνο και η τέλεια καύση του περιγράφεται από την ακόλουθη ισοσταθμισμένη εξίσωση:



Πόσα γραμμάρια διοξειδίου του θείου παράγονται από την αντίδραση ενός μίγματος 30,0 g CS₂ και 35,0 g οξυγόνου; Ποιο αντιδρών και σε πόση ποσότητα μένει αναλλοίωτο στο τέλος της καύσης;

Απάντηση



Πρώτα βρίσκουμε το π.α.

$$30,0 \text{ g CS}_2 \times \frac{1 \text{ mol CS}_2}{76,15 \text{ g CS}_2} \times \frac{2 \text{ mol SO}_2}{1 \text{ mol CS}_2} = 0,7879 \text{ mol SO}_2$$

$$35,0 \text{ g O}_2 \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{32,00 \text{ g O}_2} \times \frac{2 \text{ mol SO}_2}{3 \text{ mol O}_2} = 0,7291 \text{ mol SO}_2$$

Περιοριστικό αντιδρών το O₂. Αντιδρών σε περίσσεια το CS₂ ⇒

Παράδειγμα 3.16 (συνέχεια)

Υπολογισμοί με περιοριστικό αντιδρών (ποσότητες σε γραμμάρια)

Μάζα SO_2 από πλήρη αντίδραση =

$$0,7291 \text{ mol SO}_2 \times \frac{64,07 \text{ g SO}_2}{1 \text{ mol SO}_2} = 46,71 \text{ g SO}_2 \approx 46,7 \text{ g SO}_2$$

Πόσο CS_2 αντέδρασε; Αυτό προκύπτει από τη μάζα του προϊόντος που λαμβάνεται, δηλαδή τα $0,7291 \text{ mol SO}_2$:

$$0,7291 \text{ mol SO}_2 \times \frac{1 \text{ mol CS}_2}{2 \text{ mol SO}_2} \times \frac{76,15 \text{ g CS}_2}{1 \text{ mol CS}_2} = 27,76 \text{ g CS}_2$$

Ποσότητα CS_2 που μένει αναλλοίωτη:

$$30,0 \text{ g CS}_2 - 27,76 \text{ g CS}_2 = 2,24 \text{ g CS}_2 \approx 2,2 \text{ g CS}_2$$

Θεωρητικές και εκατοστιαίες αποδόσεις

Θεωρητική απόδοση: είναι η μέγιστη ποσότητα προϊόντος που μπορεί να ληφθεί σε μια αντίδραση από δεδομένες ποσότητες αντιδρώντων.

Πώς υπολογίζεται; από τη στοιχειομετρία με βάση το π.α.

Εκατοστιαία απόδοση: είναι η πραγματική απόδοση (πειραματική τιμή), εκφρασμένη ως ποσοστό της θεωρητικής απόδοσης (υπολογισμένη τιμή).

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

Π.χ., στο Παράδειγμα 3.16, η θεωρητική απόδοση ήταν 46,7 g SO₂. Αν στην πράξη λάβαμε 38,3 g SO₂, τότε η % απόδοση ήταν

$$\text{Εκατοστιαία απόδοση} = \frac{38,3 \text{ g}}{46,7 \text{ g}} \times 100\% = 80,5\%$$

Προσοχή! Ισχύει πάντοτε:

πραγματική απόδοση ≤ θεωρητική απόδοση και ποτέ >100%

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

3.11 Μεγάλες ποσότητες αμμωνίας καίγονται παρουσία καταλύτη λευκοχρύσου για να δώσουν οξείδιο του αζώτου, ως πρώτο βήμα παραγωγής νιτρικού οξέος.



Έστω ότι ένα δοχείο περιέχει 0,120 mol NH₃ και 0,140 mol O₂. Ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών; Πόσα moles NO θα μπορούσαν να ληφθούν;

3.12 Η μεθανόλη, CH₃OH, παρασκευάζεται βιομηχανικά μέσω της καταλυτικής αντίδρασης



Σε μια εργαστηριακή δοκιμή, το δοχείο της αντίδρασης πληρώθηκε με 35,4 g CO και 10,2 g H₂. Πόσα γραμμάρια μεθανόλης θα λαμβάνονταν από μια πλήρη αντίδραση; Ποιο αντιδρών και σε πόση ποσότητα μένει αναλλοίωτο στο τέλος της αντίδρασης;

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

3.13 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 2,10 g, πόση είναι η εκατοστιαία απόδοση;

3.14 Ένα μίγμα αποτελούμενο από 12,8 g φθοριδίου του ασβεστίου, CaF_2 , και 13,2 g θειικού οξέος, H_2SO_4 , θερμαίνεται για να παραχθεί φθορίδιο του υδρογόνου, HF.



Πόσα γραμμάρια HF μπορούν να ληφθούν το πολύ;

3.15 Μίγμα Fe_2O_3 και FeO βρέθηκε να περιέχει 72,00% Fe κατά μάζα. Η μάζα του Fe_2O_3 σε 0,500 g αυτού του μίγματος είναι:

(α) 0,237 g (β) 0,149 g (γ) 0,245 g (δ) 0,368 g