

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχέσεις μάζας στις
χημικές αντιδράσεις

Περιεχόμενα

- 3.1 Αναπαριστώντας τη χημεία σε διαφορετικά επίπεδα
- 3.2 Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων
- 3.3 Μοριακό βάρος και σχετική μοριακή μάζα
- 3.4 Στοιχειομετρία: Συσχέτιση ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων
- 3.5 Αποδόσεις χημικών αντιδράσεων
- 3.6 Αντιδράσεις με έλλειμμα αντιδρώντων
- 3.7 Ποσοστιαία σύσταση και εμπειρικοί τύποι
- 3.8 Προσδιορισμός εμπειρικών τύπων: Στοιχειακή ανάλυση
- 3.9 Προσδιορισμός μοριακού βάρους: Φασματομετρία μάζας

ΟΔΗΓΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ

Οι σχέσεις μάζας μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ποσότητας του ακετυλοσαλικυλικού οξέος που σχηματίζεται κατά την αντίδραση που πραγματοποιείται από τη φαρμακευτική βιομηχανία.

Πώς χρησιμοποιείται η αρχή της οικονομίας του ατόμου σε μια χημική σύνθεση έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα;

Μπορείτε να βρείτε την απάντηση σε αυτήν

την ερώτηση στη σελίδα 105 στο **ΕΡΩΤΗΜΑ** 9

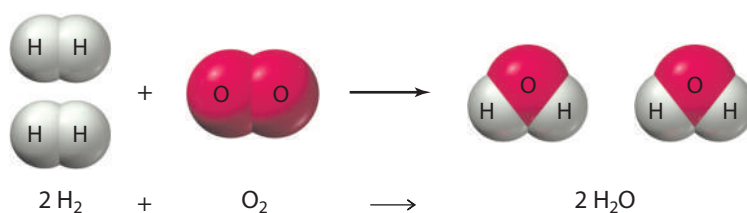
Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι οι χημικές αντιδράσεις –δηλαδή η αλλαγή μιας ουσίας σε κάποια άλλη– βρίσκονται στην καρδιά της επιστήμης. Σχεδόν κάθε διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο σώμα σας, συμπεριλαμβανομένου της όρασης, της αίσθησης του πόνου και της μετατροπής του φαγητού σε ενέργεια, αποτελείται στην ουσία από μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Με παρόμοιο τρόπο, προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά όπως οι βαφές, τα πλαστικά, τα κυκλώματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τα μέταλλα κατασκευάζονται όλα με χημικές αντιδράσεις.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αρχίσουμε μαθαίνοντας πώς μπορούμε να περιγράψουμε τις χημικές αντιδράσεις μελετώντας πρώτα τις συμβάσεις αναγραφής των χημικών εξισώσεων. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τις σχέσεις μάζας μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων στις χημικές αντιδράσεις, οι οποίες μας επιτρέπουν να υπολογίζουμε ποια μπορεί να είναι η ποσότητα του προϊόντος που μπορεί να παρασκευαστεί με δεδομένη ποσότητα αρχικών αντιδραστηρίων. Τέλος, θα δούμε πώς προσδιορίζονται οι χημικοί τύποι των ενώσεων και πώς μετράμε τα μοριακά βάρη.

3.1 Αναπαριστώντας τη χημεία σε διαφορετικά επίπεδα

Πριν αρχίσουμε αυτό το κεφάλαιο, ας απαντήσουμε πρώτα σε μια απλή αλλά σημαντική ερώτηση: Τι αντιπροσωπεύουν οι αριθμοί και τα σύμβολα στους χημικούς τύπους και στις χημικές εξισώσεις; Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση δεν είναι τόσο εύκολη όσο φαίνεται επειδή ένα χημικό σύμβολο μπορεί να έχει διαφορετικές σημασίες κάτω από διαφορετικές περιστάσεις. Οι χημικοί χρησιμοποιούν τα ίδια σύμβολα για την αναπαράσταση της χημείας τόσο στο μικροσκοπικό επίπεδο όσο και στο μακροσκοπικό επίπεδο και τείνουν να μη διαχωρίζουν τι λαμβάνει χώρα σε καθένα από αυτά τα δύο επίπεδα, με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση σε οποιονδήποτε νεοεισερχόμενο στο πεδίο.

Στο μικροσκοπικό επίπεδο, τα χημικά σύμβολα αναπαριστούν τη συμπεριφορά των διακριτών ατόμων και μορίων. Τα άτομα και τα μόρια είναι υπερβολικά μικρά για να μπορούμε να τα δούμε, αλλά μόλαταύτα μπορούμε να περιγράψουμε τη συμπεριφορά τους στο μικροσκοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, μπορούμε να καταλάβουμε τη σημασία της εξίσωσης $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ως «Δύο μόρια υδρογόνου αντιδρούν με ένα μόριο οξυγόνου προς τον σχηματισμό δύο μορίων νερού». Προσπαθούμε να καταλάβουμε τον τρόπο που πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις στο μικροσκοπικό επίπεδο. Παρότι φαίνεται απλοϊκό, μπορούμε να οπτικοποιήσουμε ένα μόριο ως μια συλλογή σφαιρών που συγκρατούνται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, προσπαθώντας να καταλάβουμε πώς το H_2 αντιδράει με το O_2 , μπορούμε να φανταστούμε ότι μόρια H_2 και O_2 αποτελούνται από δύο σφαίρες ενωμένες μαζί και ότι το μόριο του νερού αποτελείται από τρεις σφαίρες.



Στο μακροσκοπικό επίπεδο, οι χημικοί τύποι και οι χημικές εξισώσεις αναπαριστούν τη μακροσκοπική συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων η οποία έχει ως αποτέλεσμα τις ορατές ιδιότητες. Με άλλα λόγια, τα σύμβολα H_2 , O_2 και H_2O δεν αναπαριστούν απλά μεμονωμένα μόρια αλλά τεράστιους αριθμούς μορίων τα οποία συνολικά παρουσιάζουν μια σειρά από φυσικές ιδιότητες. Το σύνολο ενός μεγάλου αριθμού μορίων H_2O εμφανίζεται σε εμάς ως ένα άχρωμο υγρό το οποίο παγώνει στους 0°C και βράζει στους 100°C . Είναι εμφανές ότι στο εργαστήριο έχουμε να κάνουμε με τη μακροσκοπική συμπεριφορά όταν ζυγίζουμε συγκεκριμένες ποσότητες αντιδρώντων, τις τοποθετούμε σε μια φιάλη και παρατηρούμε τυχόν ορατές αλλαγές. Μπορούμε να καταλάβουμε τη σημασία της εξίσωσης $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ως «Δύο moles υδρογόνου αντιδρούν με ένα mole οξυγόνου προς τον σχηματισμό δύο moles νερού».

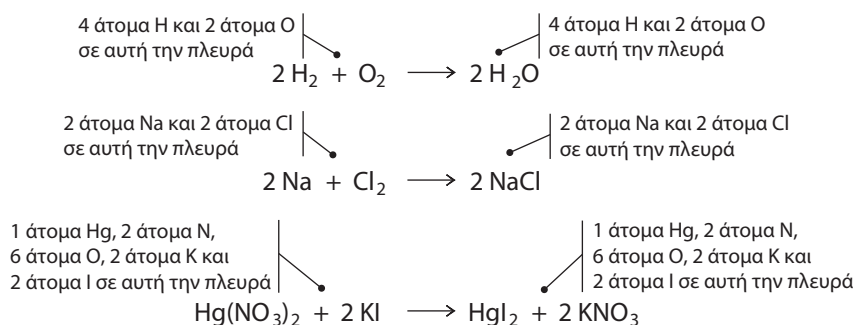
Με παρόμοιο τρόπο, ένα μεμονωμένο άτομο χαλκού δεν άγει τον ηλεκτρισμό και δεν έχει χρώμα στο μικροσκοπικό επίπεδο. Όμως, στα μακροσκοπικά επίπεδα, ένα μεγάλο σύνολο ατόμων χαλκού εμφανίζεται σε εμάς ως ένα στιλπνό, κόκκινο-καφέ στερεό με το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε ηλεκτρικά καλώδια και κέρματα.

Ένας χημικός τύπος ή μια χημική εξίσωση μπορεί να «διαβαστεί» είτε στο μακροσκοπικό είτε στο μικροσκοπικό

κό επίπεδο. Το σύμβολο H_2O μπορεί να σημαίνει είτε ένα μικρό, αόρατο μόριο είτε ένα τεράστιο σύνολο μορίων το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μπορούμε να κολυμπήσουμε σε αυτό. Θα μάθετε να αποδίδετε την κατάλληλη σημασία σε ένα χημικό τύπο ή μια χημική εξίσωση ανάλογα με τα συμφραζόμενα με τα οποία αυτά παρουσιάζονται.

3.2 Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων

Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε ορισμένα παραδείγματα χημικών αντιδράσεων: η αντίδραση του υδρογόνου με το οξυγόνο προς σχηματισμό νερού, η αντίδραση του νατρίου με το χλώριο προς σχηματισμό χλωριούχου νατρίου και η αντίδραση του νιτρικού υδραργύρου(II) με το ιωδιούχο κάλιο προς σχηματισμό ιωδιούχου υδραργύρου (II):



Δείτε προσεκτικά πώς έχουν γραφτεί αυτές οι χημικές εξισώσεις. Επειδή το υδρογόνο, το οξυγόνο και το χλώριο υφίστανται ως ομοιοπολικά διατομικά μόρια, πρέπει να τα γράψουμε ως H_2 , O_2 και Cl_2 και όχι ως απομονωμένα άτομα (Ενότητα 2.11). Τώρα, δείτε τα άτομα από την κάθε πλευρά του βέλους της αντίδρασης. Παρότι δεν το έχουμε ακόμα πει ξεκάθαρα, οι χημικές εξισώσεις γράφονται πάντα με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι εξισορροπημένες, το οποίο σημαίνει ότι οι αριθμοί και τα είδη των ατόμων και στις δύο πλευρές του βέλους της αντίδρασης είναι ακριβώς τα ίδια. Αυτό το προαπαιτούμενο είναι συνέπεια της **αρχής διατήρησης της μάζας** (Ενότητα 2.4). Επειδή τα άτομα ούτε δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται στις χημικές αντιδράσεις, τα είδη των ατόμων και οι αριθμοί των ατόμων πρέπει να παραμείνουν τα ίδια τόσο στα προϊόντα όσο και στα αντιδρώντα.

ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...

Σύμφωνα με την **αρχή διατήρησης της μάζας**, η μάζα ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται στις χημικές αντιδράσεις (Ενότητα 2.4).

Η ισοστάθμιση μιας χημικής εξίσωσης περιλαμβάνει την εύρεση του αριθμού των μονάδων τύπου για την κάθε διαφορετική ουσία που συμμετέχει στην αντίδραση. Μια μονάδα τύπου, όπως υποδηλώνει και ο όρος, αποτελεί τη μονάδα –είτε άτομο, ιόν ή μόριο– η οποία αντιστοιχεί σε δεδομένο τύπο. Μια μονάδα τύπου για το $NaCl$ είναι ένα ιόν Na^+ και ένα ιόν Cl^- , μια μονάδα τύπου για το $MgBr_2$ είναι ένα ιόν Mg^{2+} και δύο ιόντα Br^- , μια μονάδα τύπου για το H_2O είναι το ένα μόριο H_2O .

Οι πολύπλοκες εξισώσεις γενικότερα χρειάζεται να ισοσταθμίζονται χρησιμοποιώντας μια συστηματική μέθοδο, όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, ενώ οι απλές εξισώσεις μπορούν να ισοσταθμιστούν χρησιμοποιώντας ένα μίγμα κοινής λογικής και «δοκιμής και λάθους». Τα τέσσερα βήματα για την ισοστάθμιση μιας χημικής εξίσωσης είναι:

1. Γράφουμε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση χρησιμοποιώντας τη σωστή χημική μονάδα τύπου για το κάθε αντιδρών και το κάθε προϊόν. Για την αντίδραση της αμμωνίας (NH_3) με το οξυγόνο προς τον σχηματισμό μονοξειδίου του αζώτου και νερού, ξεκινάμε γράφοντας:



2. Βρίσκουμε τους κατάλληλους συντελεστές – οι αριθμοί στα αριστερά των τύπων ώστε να υποδείξουμε πόσες μονάδες τύπου από την κάθε ουσία απαιτούνται για την εξισορρόπηση της εξίσωσης. Μόνο οι συντελεστές μπορούν να αλλάξουν κατά τη διαδικασία της ισοστάθμισης μιας εξίσωσης, οι τύποι παραμένουν αμετάβλητοι. Θα ήταν καλό να αρχίσουμε με την ισοστάθμιση των στοιχείων που εμφανίζονται σε δύο μόνο είδη της εξίσωσης. Στην αντίδραση της αμμωνίας με το οξυγόνο, το στοιχείο H εμφανίζεται στην NH_3 και στο H_2O και το στοιχείο N εμφανίζεται στην NH_3 και στο NO . Για την ισοστάθμιση του H, τοποθετούμε τον συντελεστή 2 μπροστά από την

NH₃ και τον συντελεστή 3 μπροστά από το H₂O. Τώρα υπάρχουν 6 άτομα H τόσο στα αντιδρώντα όσο και στα προϊόντα.



Για την ισοστάθμιση του N, είναι απαραίτητος ο συντελεστής 2 μπροστά από το NO επειδή υπάρχουν 2 άτομα N στα αντιδρώντα.



Τα στοιχεία που δεν είναι ενωμένα με άλλα στοιχεία θα πρέπει να ισοσταθμιστούν τελευταία καθώς η αλλαγή του συντελεστή δεν θα επηρεάσει τα άλλα είδη στην εξίσωση. Σε αυτήν την περίπτωση, η προσθήκη του συντελεστή 5/2 μπροστά από το O₂ στα αντιδρώντα θα ισοσταθμίσει το O₂ επειδή υπάρχουν 5 άτομα O₂ στα προϊόντα.



3. Γράφουμε τους συντελεστές με τις μικρότερες ακέραιες τιμές τους. Η εξίσωση για την αντίδραση της αμμωνίας με το οξυγόνο είναι τώρα ισοσταθμισμένη, αλλά συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε ακέραιους συντελεστές για τις ισοσταθμισμένες εξισώσεις. Συνεπώς, πολλαπλασιάζουμε όλους τους συντελεστές με το 2 για να λάβουμε την τελικά ισοσταθμισμένη εξίσωση.

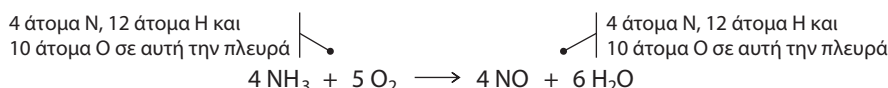


Κατά τη διαδικασία «δοκιμή και λάθος» για την ισοστάθμιση, υπάρχει περίπτωση να φτάσουμε σε μια εξίσωση η οποία να έχει συντελεστές που θα πρέπει να τους απλοποιήσουμε. Αν είχαμε την εξής ισοσταθμισμένη εξίσωση



Θα ήταν απαραίτητο να διαιρέσουμε με τον κοινό διαιρέτη ώστε να λάβουμε τις μικρότερες ακέραιες τιμές. Η διαίρεση όλων των συντελεστών με το 2 θα μας οδηγούσε στη σωστά ισοσταθμισμένη εξίσωση.

4. Ελέγχουμε την απάντηση που δώσαμε διασφαλίζοντας ότι οι αριθμοί και τα είδη των ατόμων είναι τα ίδια και στα δύο μέρη της εξίσωσης.

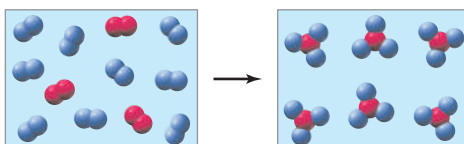


Ας δούμε μερικά ακόμα παραδείγματα.

ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.1

Οπτικοποίηση ατόμων και μορίων σε μια χημική εξίσωση

Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση του στοιχείου A (κόκκινες σφαίρες) με το στοιχείο B (μπλε σφαίρες) που απεικονίζεται παρακάτω:



Στρατηγική

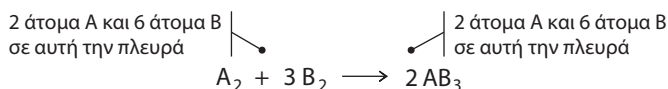
Η ισοστάθμιση της αντίδρασης που βλέπουμε σε αυτή τη μοριακή αναπαράσταση είναι απλά θέμα καταμέτρησης του αριθμού των μονάδων τύπου για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα. Σε αυτό το παράδειγμα, το κουτί των αντιδρώντων περιέχει τρία κόκκινα μόρια A₂ και εννιά μπλε μόρια B₂, ενώ το κουτί των προϊόντων περιέχει έξι μόρια AB₃ χωρίς να έχει παραμείνει κανένα αντιδρών.

Λύση

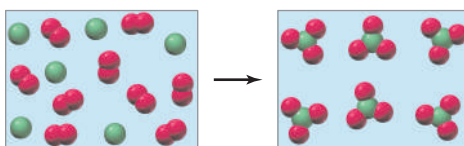
$3 A_2 + 9 B_2 \longrightarrow 6 AB_3$ και διαιρώντας με το 3 λαμβάνουμε την απλοποιημένη εξίσωση $A_2 + 3 B_2 \longrightarrow 2 AB_3$

Επαλήθευση

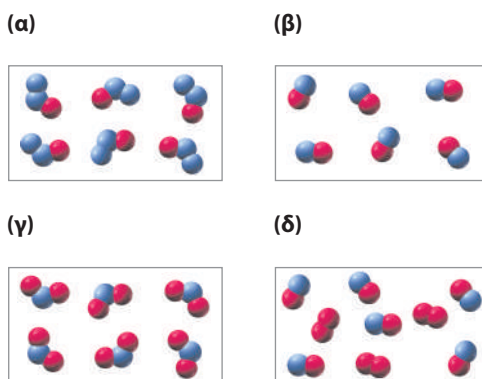
Σε κάθε ισοσταθμισμένη εξίσωση, ο αριθμός και το είδος των ατόμων πρέπει να είναι τα ίδια και στις δύο πλευρές. Ξοτην ένθετη εικόνα τα σχόλια είναι κοινά δεξιά και αριστερά:



Εννοιολογική πρακτική 3.1 Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση του στοιχείου A (κόκκινες σφαίρες) με το στοιχείο B (πράσινες σφαίρες) που απεικονίζεται παρακάτω:



Εννοιολογική εφαρμογή 3.2 Αν οι μπλε σφαίρες αντιπροσωπεύουν τα άτομα αζώτου και οι κόκκινες σφαίρες αντιπροσωπεύουν τα άτομα οξυγόνου, ποιο από τα παρακάτω κουτιά αντιπροσωπεύει τα αντιδρώντα και ποιο κουτί αντιπροσωπεύει τα προϊόντα για την αντίδραση $2 NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2 NO_2(g)$;

**ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.2****Ισοστάθμιση μιας χημικής εξίσωσης**

Το προπάνιο, C_3H_8 , είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο χρησιμοποιείται συχνά ως καύσιμο για θέρμανση και μαγείρεμα σε camping και αγροτικά σπίτια. Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση καύσης του προπανίου με το οξυγόνο προς σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και νερού.

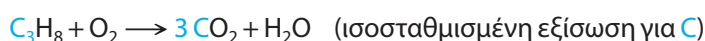
Στρατηγική και λύση

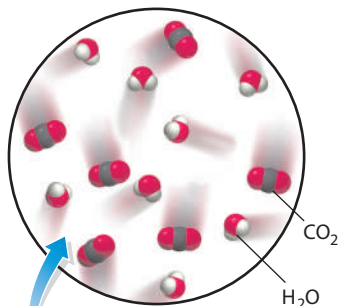
Ακολουθήστε τα παρακάτω τέσσερα βήματα που περιγράφονται στο κείμενο:

Βήμα 1. Γράψτε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση χρησιμοποιώντας τους σωστούς χημικούς τύπους για όλες τις ενώσεις:



Βήμα 2. Βρείτε τους κατάλληλους συντελεστές για την ισοστάθμιση της εξίσωσης. Αρχίστε με την εξισορρόπηση των στοιχείων που εμφανίζονται σε δύο είδη, σε αυτήν την αντίδραση αυτά είναι τα C και H. Δείτε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση και παρατηρήστε ότι υπάρχουν 3 άτομα άνθρακα στα αριστερά της εξίσωσης αλλά μόνο 1 άτομο άνθρακα στα δεξιά της εξίσωσης. Αν προσθέσουμε τον συντελεστή 3 στο CO_2 στα δεξιά, τότε τα άτομα άνθρακα ισοσταθμίζονται:





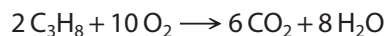
Στη συνέχεια, δείτε τον αριθμό των ατόμων υδρογόνου. Υπάρχουν 8 άτομα υδρογόνου στα δεξιά αλλά μόνο 2 (στο H_2O) στα δεξιά. Προσθέτοντας τον συντελεστή 4 στο H_2O στα δεξιά, τότε τα άτομα υδρογόνου ισοσταθμίζονται:



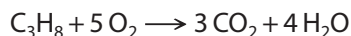
Βρείτε τον συντελεστή για το O_2 στο τέλος καθώς το οξυγόνο δεν ενώνεται με τα άλλα στοιχεία. Δείτε τον αριθμό των ατόμων οξυγόνου. Υπάρχουν 2 άτομα οξυγόνου στα δεξιά αλλά μόνο 10 στα δεξιά. Προσθέτοντας τον συντελεστή 5 στο O_2 στα αριστερά, τότε τα άτομα οξυγόνου ισοσταθμίζονται:



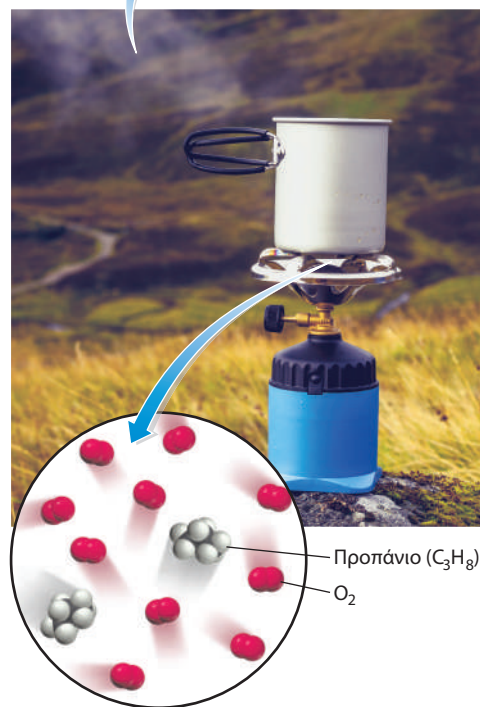
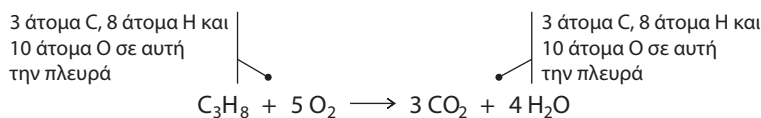
Βήμα 3. Επιβεβαιώστε ότι οι συντελεστές έχουν απλοποιηθεί στην μικρότερη ακέραια τιμή. Στην πραγματικότητα, η απάντησή μας είναι ήδη σωστή, αλλά θα μπορούσαμε να έχουμε φτάσει σε διαφορετική απάντηση με τη μέθοδο «δοκιμής και λάθους»:



Παρότι η παραπάνω εξίσωση είναι ισοσταθμισμένη, οι συντελεστές δεν έχουν τις μικρότερες ακέραιες τιμές που μπορούν να λάβουν. Θα πρέπει να διαιρέσουμε όλους τους συντελεστές με το 2 για να λάβουμε την τελική εξίσωση. Ο συντελεστής 1 δεν γράφεται ποτέ αλλά υπονοείται σε περίπτωση που δεν δίνεται κάποιος άλλος συντελεστής.



Βήμα 4. Ελέγξτε την απάντηση καταμετρώντας τον αριθμό και το είδος των ατόμων και στις δύο πλευρές της εξίσωσης ώστε να είναι τα ίδια:

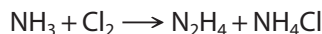


Το προπάνιο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα καμινέτα του camping και σε αγροτικά σπίτια.



Η έντονη αντίδραση του χλωρικού καλίου με την επιτραπέζια ζάχαρη.

Πρακτική 3.3 Ισοσταθμίστε την εξίσωση για τη σύνθεση υδραζίνης που χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τους πυραύλους.

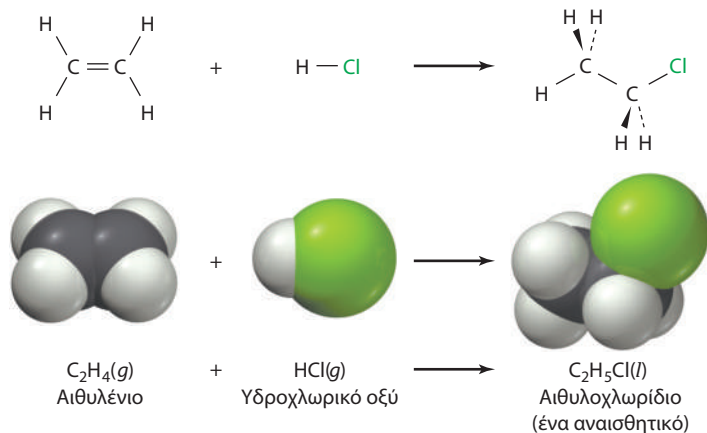


Εφαρμογή 3.4 Το κύριο συστατικό στα σπέρτα είναι το χλωρικό κάλιο, KClO_3 , μια ουσία η οποία μπορεί να δράσει ως πηγή οξυγόνου σε αντιδράσεις καύσεις. Η αντίδρασή της με την κοινή επιτραπέζια ζάχαρη (σακχαρόζη, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), για παράδειγμα, είναι έντονη προς σχηματισμό χλωριούχου καλίου, διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση.

3.3 Μοριακό βάρος και σχετική μοριακή μάζα

Φανταστείτε ένα εργαστηριακό πείραμα – ίσως την αντίδραση του αιθυλενίου, C_2H_4 , με το ή υδροχλωρικό οξύ, HCl , προς σχηματισμό του αιθυλοχλωριδίου, $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$, ένα άχρωμο υγρό με χαμηλό σημείο ζέσεως το οποίο χρησιμοποιούν οι γιατροί και οι προπονητές με τη μορφή εκνεφώματος (spray) ως τοπικό αναισθητικό για τους μικροτραυματισμούς. Θα έχετε προσέξει ότι όταν γράψαμε αυτή και άλλες εξισώσεις, χρησιμοποιούμε

τους χαρακτηρισμούς (g) για τα αέρια, (l) για τα υγρά, (s) για τα στερεά και (aq) για τα υδατικά διαλύματα (από τους όρους gas, liquid, solid και aqueous solutions αντίστοιχα), μαζί με τα σύμβολα των αντιδρώντων και των προϊόντων για να υποδείξουμε την φυσική τους κατάσταση. Θα το κάνουμε αυτό συχνά από εδώ και πέρα.



Το αιθυλοχλωρίδιο χρησιμοποιείται συχνά ως τοπικό αναισθητικό με τη μορφή spray για αθλητικούς μικροτραυματισμούς.

Πόσο αιθυλένιο και πόσο υδροχλωρικό οξύ θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε για το πείραμα; Σύμφωνα με τους συντελεστές της ισοσταθμισμένης εξίσωσης, χρειάζεστε μια αριθμητική αναλογία 1:1 για τα δύο αντιδρώντα. Στο εργαστήριο, δεν μπορείτε να μετρήσετε τα αντιδρώντα μόρια, αλλά θα πρέπει να τα ζυγίσετε. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να μετατρέψετε μια αριθμητική αναλογία αντιδρώντων μορίων, όπως σας δίνεται με τους συντελεστές της ισοσταθμισμένης εξίσωσης, σε αναλογία μάζας ώστε να είστε σίγουροι ότι χρησιμοποιείτε τις σωστές ποσότητες.

Οι αναλογίες μάζας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα μοριακά βάρη των ουσιών που λαμβάνουν μέρος σε μια αντίδραση. Όπως λοιπόν το ατομικό βάρος ενός στοιχείου είναι ο μέσος όρος της μάζας των ατόμων του στοιχείου (Ενότητα 2.9), έτσι και το μοριακό βάρος μιας ουσίας είναι ο μέσος όρος της μάζας των μορίων της ουσίας. Αριθμητικά, το μοριακό βάρος (ή, γενικότερα, το τυπικό βάρος που περιλαμβάνει τόσο τις ιοντικές όσο και τις μοριακές ουσίες) είναι ίσο με το άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων του μορίου.

ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...

Το **ατομικό βάρος** ενός στοιχείου είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των μαζών από τα φυσικά απαντώμενα ισότοπα του στοιχείου. Παρότι το ατομικό βάρος συνήθως γράφεται ως ένα αδιάστατο μέγεθος, έχει μονάδα μέτρησης την ατομική μονάδα μάζας (u) (Ενότητα 2.9).

Μοριακό βάρος Άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων ενός μορίου

Τυπικό βάρος Άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων μιας μονάδας τύπου για μια ένωση, μοριακή ή ιοντική.

Ως παράδειγμα, το μοριακό βάρος του αιθυλενίου είναι 28,0, το μοριακό βάρος του υδροχλωρικού οξέος είναι 36,5 και το μοριακό βάρος του αιθυλοχλωριδίου είναι 64,5. (Αυτοί οι αριθμοί έχουν στρογγυλοποιηθεί στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο για μεγαλύτερη ευκολία, ενώ οι πραγματικές τιμές είναι γνωστές με μεγαλύτερη ακρίβεια).

Για το αιθυλένιο, C_2H_4 :

Ατομικό βάρος από 2 C = (2)(12,0) = 24,0

Ατομικό βάρος από 4 H = (4)(1,0) = 4,0

Μοριακό βάρος του C_2H_4 = 28,0

Για το υδροχλωρικό οξύ, HCl:

Ατομικό βάρος H = 1,0

Ατομικό βάρος Cl = 35,5

Μοριακό βάρος του HCl = 36,5

Για το αιθυλοχλωρίδιο, $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$:

Ατομικό βάρος από 2 C = (2)(12,0) = 24,0

Ατομικό βάρος από 5 H = (5)(1,0) = 5,0

Ατομικό βάρος Cl = 35,5

Μοριακό βάρος του $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ = 64,5

ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...

Το **mole** είναι μια θεμελιώδης μονάδα στο SI που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ποσότητας της ύλης. Ένα mole οποιασδήποτε ουσίας – άτομο, ιόν ή μόριο – είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια είναι αριθμητικά ίση με το μοριακό βάρος της ένωσης (ή το τυπικό βάρος). Το ένα mole περιέχει τον **αριθμό Avogadro** ($6,022 \times 10^{23}$) από τυπικές μονάδες (Ενότητα 2.9).

Πώς χρησιμοποιούμε τα μοριακά βάρη; Είδαμε στην Ενότητα 2.9 ότι το ένα **mole** οποιουδήποτε στοιχείου είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια ή μοριακή μάζα, είναι αριθμητικά ίση με το ατομικό βάρος του στοιχείου. Με τον ίδιο τρόπο, ένα mole οποιασδήποτε χημικής ένωσης είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια είναι αριθμητικά ίση με το μοριακό βάρος της ένωσης (ή το τυπικό βάρος) και περιέχει τον αριθμό τυπικών μονάδων (μόρια ή ιόντα) ίσο με τον **αριθμό Avogadro** ($6,022 \times 10^{23}$). Συνεπώς, το 1 mol του αιθυλενίου έχει μάζα 28,0 g, το 1 mol του HCl έχει μάζα 36,5 g και το 1 mol του C_2H_5Cl έχει μάζα 64,5 g.

Μορ. Βάρος HCl = 36,5

μοριακή μάζα HCl = 36,5 g/mol

1 mol HCl = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια HClΜορ. Βάρος C_2H_4 = 28,0μοριακή μάζα C_2H_4 = 28,0 g/mol1 mol C_2H_4 = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια C_2H_4 Μορ. Βάρος C_2H_5Cl = 64,5μοριακή μάζα C_2H_5Cl = 64,5 g/mol1 mol C_2H_5Cl = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια C_2H_5Cl **ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.3****Υπολογισμός μοριακού βάρους**

Ποιο είναι το μοριακό βάρος της γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) και ποια είναι η μοριακή της μάζα σε g/mol;

Προσδιορισμός

Γνωστά δεδομένα

Άγνωστες παράμετροι

Χημικός τύπος της γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$)

Μοριακό βάρος και μοριακή μάζα της γλυκόζης

Στρατηγική

Το μοριακό βάρος μιας ουσίας είναι το άθροισμα των ατομικών βαρών των συστατικών της ατόμων. Φτιάχνουμε έναν κατάλογο των στοιχείων που εμπριέχονται στο μόριο και ελέγχουμε το ατομικό βάρος για το καθένα (για λόγους ευκολίας θα στρογγυλοποιήσουμε στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο):

C (12,0) H (1,0) O (16,0)

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε το ατομικό βάρος του κάθε στοιχείου με τον αριθμό με τον οποίο εμφανίζεται στον χημικό τύπο και θα αθροίσουμε συνολικά τα αποτελέσματα.

Λύση

$$C_6 (6 \times 12,0) = 72,0$$

$$H_{12} (12 \times 1,0) = 12,0$$

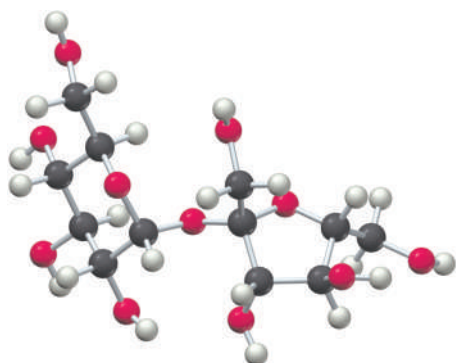
$$O_6 (6 \times 16,0) = 96,0$$

$$\text{Μοριακό βάρος του } C_6H_{12}O_6 = 180,0$$

Επειδή ένα μόριο γλυκόζης έχει μάζα 180,0 u, τότε το 1 mol γλυκόζης έχει μάζα 180,0 g. Συνεπώς η μοριακή μάζα της γλυκόζης είναι 180,0 g/mol.

Πρακτική 3.5 Υπολογίστε το μοριακό βάρος του θειικού οξέος (H_2SO_4).

Εννοιολογική εφαρμογή 3.6 Με τη βοήθεια του συντακτικού τύπου της σακχαρόζης, υπολογίστε το μοριακό της βάρος και τη μοριακή της μάζα σε g/mol. (γκρι = C, κόκκινο = O, άσπρο = H).



Σακχαρόζη

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.4

Αλληλομετατροπή μάζας και moles

Πόσα moles γλυκόζης, η οποία χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των χαμηλών επιπέδου σακχάρου στο αίμα, εμπεριέχονται σε ένα δισκίο μάζας 2,00 g; (Η μοριακή μάζα της γλυκόζης, $C_6H_{12}O_6$, έχει υπολογιστεί στο Λυμένο παράδειγμα 3.3).

Προσδιορισμός

Γνωστά δεδομένα	Άγνωστες παράμετροι
Μάζα της γλυκόζης (2,00 g)	Moles της γλυκόζης

Στρατηγική

Η γνωστή ποσότητα (σε γραμμάρια) μπορεί να μετατραπεί στην άγνωστη ποσότητα (moles) χρησιμοποιώντας τη μοριακή μάζα της γλυκόζης ως παράγοντα μετατροπής. Εκφράζουμε την εξίσωση με τέτοιο τρόπο ώστε οι ανεπιθύμητες μονάδες να απλοποιούνται.

Λύση

$$2,00 \text{ g γλυκόζη} \times \frac{1 \text{ mol γλυκόζης}}{180,0 \text{ g γλυκόζης}} = 0,0111 \text{ mol γλυκόζης} = 1,11 \times 10^{-2} \text{ mol γλυκόζης}$$

Επαλήθευση

Επειδή η μοριακή μάζα της γλυκόζης είναι 180,0 g/mol, το 1 mol γλυκόζης έχει μάζα 180,0 g. Συνεπώς, τα 2,00 g γλυκόζης είναι λίγο παραπάνω από το ένα εκατοστό του mole ή 0,01 mol. Η εκτίμηση συμφωνεί με την υπολογισμένη λύση.

Πρακτική 3.7 Πόσα moles εμπεριέχονται σε 5,26 g $NaHCO_3$, που είναι το κύριο συστατικό για τα φαρμακευτικά σκευάσματα που δρουν ως αντιόξινα;

Εφαρμογή 3.8 Όταν ένα διαβητικό άτομο έχει χαμηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, πιθανά λόγω περίσσειας ινσουλίνης ή λόγω αυξημένης σωματικής δραστηριότητας, τότε η θεραπεία είναι η κατανάλωση δισκίων γλυκόζης.

- πόσα γραμμάρια γλυκόζης είναι η συνιστώμενη ποσότητα για την θεραπεία ενός ενήλικα που αντιστοιχεί σε 0,0833 mol γλυκόζης;
- ένα τυπικό δισκίο περιέχει 3,75 g γλυκόζης. Πόσα δισκία θα πρέπει να καταναλωθούν;
- πόσα μόρια γλυκόζης εμπεριέχονται σε 0,0833 mol;



3.4 Στοιχειομετρία: Συσχέτιση ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων

Η στοιχειομετρία αφορά τη χημική αριθμητική που απαιτείται για τη συσχέτιση των ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων σε μια χημική αντίδραση. Ερωτήσεις όπως «ποια είναι η μάζα των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν με βάση μια δεδομένη ποσότητα αντιδρώντων;» ή «ποια είναι η απαιτούμενη μάζα έτσι ώστε ένα αντιδρών να αντιδράσει πλήρως με ένα άλλο αντιδρών;» μπορούν να απαντηθούν με τη χρήση της στοιχειομετρίας.

Σε κάθε ισοσταθμισμένη χημική εξίσωση, οι συντελεστές δείχνουν τον αριθμό των μονάδων τύπου, επομένως και τον αριθμό των μορίων, για την κάθε ένωση που συμμετέχει σε μια αντίδραση. Μπορείτε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσετε τις μοριακές μάζες ως παράγοντες μετατροπής για να υπολογίσετε τις μάζες των αντιδρώντων και των προϊόντων. Για παράδειγμα, αν βλέπατε την παρακάτω ισοσταθμισμένη εξίσωση για τη βιομηχανική σύνθεση της αμμωνίας, θα γνωρίζατε ότι 3 mol $H_2(g)$ ($3 \text{ mol} \times 2,0 \text{ g/mol} = 6,0 \text{ g}$) απαιτούνται για να αντιδράσουν με 1 mol $N_2(g)$ (28,0 g) προς σχηματισμό 2 mol $NH_3(g)$ ($2 \text{ mol} \times 17,0 \text{ g/mol} = 34,0 \text{ g}$).

Moles → αριθμός των μορίων ή των μονάδων τύπου

Γραμμάρια → μάζα

Το διάγραμμα ροής του **ΣΧΗΜΑΤΟΣ 3.1** απεικονίζει τις απαραίτητες μετατροπές. Προσέξτε ότι δεν μπορείτε να πάτε απευθείας από τον αριθμό των γραμμαρίων του ενός αντιδραστήριου στον αριθμό των γραμμαρίων κάποιου άλλου αντιδραστήριου. Θα πρέπει να μετατρέψετε πρώτα σε moles.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.5

Συσχέτιση των μαζών για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα

Τα υδατικά διαλύματα του υποχλωριούδους νατρίου (NaOCl), γνωστό και ως οικιακή χλωρίνη, παρασκευάζονται από την αντίδραση του υδροξειδίου του νατρίου με το χλώριο. Πόσα γραμμάρια NaOH χρειάζονται για να αντιδράσουν με 25,0 g Cl₂;



Προσδιορισμός

Γνωστά δεδομένα	Άγνωστες παράμετροι
Μάζα του Cl ₂ (25.0 g)	Μάζα του NaOH (g)
Ισοσταθμισμένη εξίσωση	

Στρατηγική

Ο στόχος είναι να συσχετίσουμε τη γνωστή ποσότητα του ενός αντιδραστήριου (Cl₂) με το άλλο αντιδραστήριο (NaOH). Η εύρεση των σχέσεων μεταξύ των ποσοτήτων των αντιδρώντων απαιτεί από εμάς να δουλέψουμε με τα moles και να χρησιμοποιήσουμε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για να συσχετίσουμε τις ποσότητες. Οι μοριακές μάζες θα χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή μεταξύ moles και γραμμαρίων. Θα χρησιμοποιήσουμε τη γενική στρατηγική που φαίνεται στο Σχήμα 3.1.

Λύση

Βήμα 1. Μετατροπή των γραμμαρίων του Cl₂ σε moles του Cl₂. Αυτή η μετατροπή γραμμάρια σε mole πραγματοποιείται με τον συνηθισμένο τρόπο, χρησιμοποιώντας τη μοριακή μάζα του Cl₂ (70,9 g/mol) ως τον παράγοντα μετατροπής:

$$25,0 \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{70,9 \text{ g Cl}_2} = 0,353 \text{ mol Cl}_2$$

Βήμα 2. Μετατροπή των moles του Cl₂ σε moles NaOH. Οι συντελεστές της ισοσταθμισμένης εξίσωσης υποδεικνύουν ότι τα κάθε mole του Cl₂ αντιδράει με 2 mol του NaOH.

$$0,353 \text{ mol Cl}_2 \times \frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol Cl}_2} = 0,706 \text{ mol NaOH}$$

Βήμα 3. Μετατροπή των moles NaOH σε γραμμάρια NaOH. Η μετατροπή των mole σε γραμμάρια γίνεται με τη χρήση της μοριακής μάζας του NaOH (40,0 g/mol) ως παράγοντα μετατροπής για να βρούμε ότι απαιτούνται 28,2 g NaOH για την αντίδραση:

$$0,706 \text{ mol NaOH} \times \frac{40,0 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} = 28,2 \text{ g NaOH}$$

Το πρόβλημα θα είχε επίσης λυθεί αν συνδυάζαμε όλα τα παραπάνω βήματα σε μια μεγάλη εξίσωση:



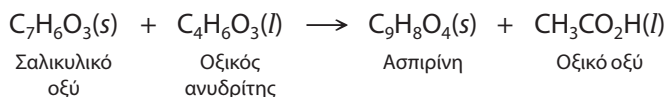
Η οικιακή χλωρίνη είναι ένα υδατικό διάλυμα NaOCl, το οποίο παρασκευάζεται από την αντίδραση του NaOH με το Cl₂.

$$\text{γραμμάρια NaOH} = 25,0 \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{70,9 \text{ g Cl}_2} \times \frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol Cl}_2} \times \frac{40,0 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} = 28,2 \text{ g NaOH}$$

Επαλήθευση

Η μοριακή μάζα του NaOH είναι περίπου η μισή από αυτή του Cl₂, με αποτέλεσμα να απαιτούνται 2 mol NaOH ανά mol Cl₂. Συνεπώς, η απαιτούμενη μάζα του NaOH θα είναι παρόμοια με αυτή του Cl₂, ή αλλιώς περίπου 25 g.

Πρακτική 3.9 Η ασπιρίνη παρασκευάζεται από την αντίδραση του σαλικυλικού οξέος (C₇H₆O₃) με τον οξικό ανυδρίτη (C₄H₆O₃) σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:



Πόσα γραμμάρια οξικού ανυδρίτη απαιτούνται για την αντίδραση με 4.50 g σαλικυλικού οξέος;

Εφαρμογή 3.10 Δείτε την ισοσταθμισμένη αντίδραση για τη σύνθεση της ασπιρίνης στο Πρόβλημα 3.9.

- (α) πόσα γραμμάρια σαλικυλικού οξέος απαιτούνται για την παρασκευή 10.0 g ασπιρίνης;
 (β) πόσα γραμμάρια οξικού οξέος σχηματίζονται ως παραπροϊόν κατά τη σύνθεση των 10.0 g ασπιρίνης;

3.5 Αποδόσεις χημικών αντιδράσεων

Στα στοιχειομετρικά παραδείγματα με τα οποία ασχοληθήκαμε στην προηγούμενη ενότητα, είχαμε κάνει τη σιωπηρή παραδοχή ότι όλες οι αντιδράσεις «ολοκληρώνονται». Αυτό σημαίνει ότι υποθέσαμε πως όλα τα αντιδρώντα μόρια μετατρέπονται σε προϊόντα. Στην πραγματικότητα, λίγες μόνο αντιδράσεις συμπεριφέρονται τόσο ξεκάθαρα. Συνήθως, η μεγάλη πλειονότητα των μορίων αντιδράει με τον αναμενόμενο τρόπο, αλλά συμβαίνουν επίσης και άλλες διαδικασίες, ή αλλιώς παράπλευρες αντιδράσεις. Συνεπώς, η ποσότητα του προϊόντος που σχηματίζεται πραγματικά, η οποία ονομάζεται και απόδοση της αντίδρασης, είναι λιγότερη από την προβλεπόμενη ποσότητα με βάση τους υπολογισμούς.

Η ποσότητα του προϊόντος που σχηματίζεται πραγματικά σε μια αντίδραση διαιρεμένη με την θεωρητικά υπολογισμένη ποσότητα που θα μπορούσε να προκύψει και πολλαπλασιασμένη με το 100% είναι η ποσοστιαία απόδοση της αντίδρασης. Για παράδειγμα, αν μια δεδομένη αντίδραση θα μπορούσε να δώσει 6.9 g κάποιου προϊόντος σύμφωνα με τη στοιχειομετρία της αλλά έδωσε στην πραγματικότητα μόνο 4.7 g, τότε η ποσοστιαία απόδοση είναι $4.7/6.9 \times 100, = 68\%$.

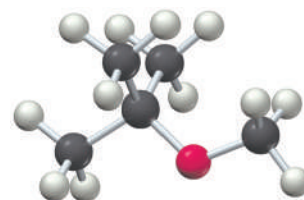
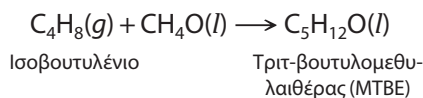
$$\text{Ποσοστιαία απόδοση} = \frac{\text{Πραγματική απόδοση του προϊόντος}}{\text{Θεωρητική απόδοση του προϊόντος}} \times 100\%$$

Το Λυμένο Παράδειγμα 3.6 δείχνει πώς μπορούμε να υπολογίσουμε και να χρησιμοποιήσουμε την ποσοστιαία απόδοση.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.6

Υπολογισμός της ποσοστιαίας απόδοσης

Η ένωση μεθυλ τριτ-βουτυλαιθέρας (MTBE, C₅H₁₂O), ένα πρόσθετο της βενζίνης που έχει αρχίσει να αποσύρεται από πολλές χώρες λόγω θεμάτων υγείας, μπορεί να παρασκευαστεί από την αντίδραση του ισοβουτυλενίου (C₄H₈) με τη μεθανόλη (CH₃O). Ποια είναι η ποσοστιαία απόδοση της αντίδρασης αν έχουμε πάρει 32,8 g MTBE από την αντίδραση 26,3 g ισοβουτυλενίου με επαρκή ποσότητα μεθανόλης;



Τριτ-βουτυλομεθυλαιθέρας