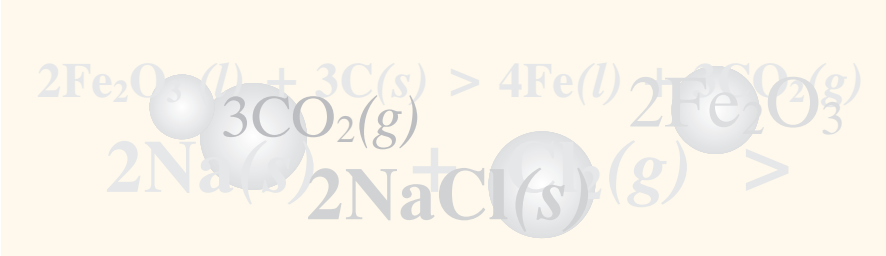


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Οξειδοαναγωγή

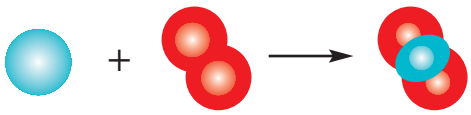
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Οξειδοαναγωγή

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρκετά από τα χημικά φαινόμενα που συμβαίνουν στον έμβιο και τον ανόργανο κόσμο, είναι αποτέλεσμα ενός τύπου χημικών αντιδράσεων που ονομάζονται αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Αυτού του τύπου οι αντιδράσεις ερμηνεύουν ένα ευρύ φάσμα από χημικά φαινόμενα, όπως το σκούριασμα των μετάλλων κατά την έκθεσή τους στο οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, την μετατροπή του κρασιού σε ξίδι, τις καύσεις του άνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, κ.λ.π.



Σχήμα 1.1. *Η οξείδωση του άνθρακα από το οξυγόνο, σε διοξείδιο του άνθρακα.*

Στους ζωντανούς οργανισμούς η ενέργεια που δαπανάται κατά τις βιοχημικές διεργασίες

που συμβαίνουν στα κύτταρα, προέρχεται κυρίως από οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, όπως είναι η οξείδωση οργανικών μορίων τα οποία παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται στη σταθερή θερμοκρασία του σώματος και παράγουν χημική ενέργεια και θερμότητα.

Η οξείδωση των οργανικών μορίων πραγματοποιείται στα κύτταρα από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας που μεταφέρεται σ' αυτά με την διαδικασία της αναπνοής.

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗΣ

1.2.1 Αρχικός ορισμός

Η έννοια της **οξείδωσης**, αρχικά, ήταν ταυτισμένη με την αντίδραση ενός σώματος με το **οξυγόνο**. Ένα παράδειγμα που αποδίδει με τον καλλίτερο τρόπο την αρχική αυτή αντίληψη, αποτελεί η οξείδωση του σιδήρου. Όλοι έχουμε δει ένα σιδερένιο καρφί να σκουριάζει, παρουσία υγρασίας, εξ αιτίας της αντίδρασής του με το οξυγόνο του αέρα. Κατά την αντίδραση αυτή ο σίδηρος μετατρέπεται σε οξείδιο του σιδήρου σύμφωνα με την πιο κάτω αντίδραση.

$$4Fe\ (s) + 3O_2\ (g) \rightarrow 2Fe_2O_3\ (s)$$

Άλλα παραδείγματα οξείδωσης είναι οι **καύσεις** των ξύλων, του πετρελαίου και των παραγώγων του, του φυσικού αερίου κ.λ.π. κατά τις οποίες το οξυγόνο του αέρα ενώνεται με στοιχεία που περιέχουν τα πιο πάνω σώματα όπως είναι ο άνθρακας (C) και το υδρογόνο (H_2) παράγοντας οξείδια του άνθρακα ($\mathbf{CO_2}$, **CO**) και νερό ($H_2\mathbf{O}$).

Ανάλογα ο όρος **αναγωγή**, αναφερόταν σε χημικές αντιδράσεις στις οποίες οι ενώσεις έχα-

ναν οξυγόνο που περιείχαν στο μόριό τους, όπως για παράδειγμα η αναγωγή του οξειδίου του Fe^{3+} σε μεταλλικό σίδηρο σε υψηλή θερμοκρασία.

$$2Fe_2O_3\ (s) + 3C\ (s) \rightarrow 4Fe\ (l) + 3CO_2\ (g)$$

Σήμερα, οι όροι οξείδωση και αναγωγή έχουν ευρύτερη σημασία, αναφερόμενοι σε μία μεγάλη κατηγορία χημικών αντιδράσεων, οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες στα χαρακτηριστικά τους σε σχέση με τις αντιδράσεις που περιγράψαμε.

1.2.2 Ορισμός με βάση την ηλεκτρονική θεωρία

Μια σημαντική κατηγορία χημικών αντιδράσεων στις οποίες δεν συμμετείχε το οξυγόνο, εντάχθηκαν στις αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής με την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής θεωρίας. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή:

Οξείδωση είναι η αποβολή ηλεκτρονίων από ένα στοιχείο:

$$Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e$$

Αναγωγή είναι η πρόσληψη ηλεκτρονίων από ένα στοιχείο.

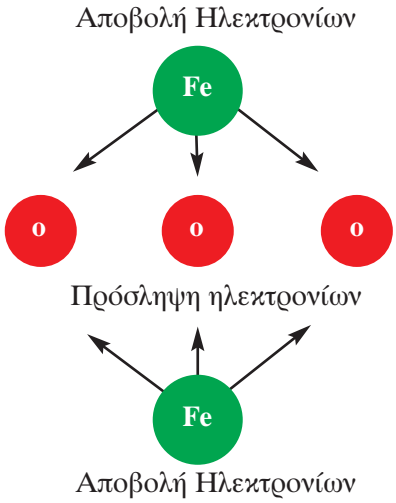
$$O_2 + 4e \rightarrow 2O^{2-}$$

Καθώς δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν ανεξάρτητα αντιδράσεις οξείδωσης ή αντιδράσεις αναγωγής, μιλάμε πάντα για αντιδράσεις **οξειδοαναγωγής**, δηλαδή για αντιδράσεις μετακίνησης ηλεκτρονίων από το άτομο του στοιχείου που οξειδώνεται στο άτομο του στοιχείου που ανάγεται.

Στην αντίδραση

$$4Fe\ (s) + 3O_2\ (g) \rightarrow 2Fe_2O_3\ (s)$$

ο σίδηρος (Fe) αποβάλλει ηλεκτρόνια και οξειδώνεται, ενώ το οξυγόνο (O_2) προσλαμβάνει ηλεκτρόνια και ανάγεται (σχήμα 1.2). Τα ιόντα Fe^{3+} και O^{2-} που παράγονται σχηματίζουν την ένωση Fe_2O_3.



Σχήμα 1.2. *Δύο άτομα σιδήρου αποβάλλουν 2·3 = 6 ηλεκτρόνια που προσλαμβάνουν τρία άτομα οξυγόνου (από δύο το κάθε ένα).*

Στην αντίδραση

$$2Al\ (s) + 3Cl_2\ (g) \rightarrow 2AlCl_3\ (s)$$

το αργίλιο (Al) αποβάλλει ηλεκτρόνια και οξειδώνεται, ενώ το χλώριο (Cl_2) προσλαμβάνει ηλεκτρόνια και ανάγεται. Τα ιόντα Al^{3+} και Cl^- που παράγονται σχηματίζουν την ένωση χλωριούχο αργίλιο ($AlCl_3$).

Στην αντίδραση

$$2Na\ (s) + Cl_2\ (g) \rightarrow 2NaCl\ (s)$$

το νάτριο (Na) αποβάλλει ηλεκτρόνια και οξειδώνεται, ενώ το χλώριο (Cl_2) προσλαμβάνει ηλεκτρόνια και ανάγεται. Τα ιόντα Na^+ και Cl^- που παράγονται σχηματίζουν την ένωση χλωριούχο νάτριο (NaCl).

Συνεπώς, σε κάθε αντίδραση οξειδοαναγωγής υπάρχει ένα άτομο στοιχείου που αποβάλλει ηλεκτρόνια και οξειδώνεται και ένα άλλο που τα προσλαμβάνει και ανάγεται. Τα άτομα αυτά μπορούν να είναι ουδέτερα (ελεύθερα στοιχεία), φορτισμένα (ιόντα) ή να ανήκουν σε χημικές ενώσεις.

Το άτομο που αποβάλλει ηλεκτρόνια προκαλεί την αναγωγή του άλλου και γι'αυτό ονομάζεται **αναγωγικό**.

Αναγωγικά μέσα ή **σώματα** ονομάζονται τα στοιχεία, οι χημικές ενώσεις ή τα ιόντα που περιέχουν ένα ή περισσότερα αναγωγικά άτομα.

Το άτομο που προσλαμβάνει τα ηλεκτρόνια προκαλεί την οξείδωση του άλλου και γι'αυτό ονομάζεται **οξειδωτικό**.

Οξειδωτικά μέσα ή **σώματα** ονομάζονται τα στοιχεία, οι χημικές ενώσεις ή τα ιόντα που περιέχουν ένα ή περισσότερα οξειδωτικά άτομα.

1.2.3 Σύγχρονος ορισμός της οξείδωσης και αναγωγής

Η περιγραφή των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής γίνεται απλούστερη με την εισαγωγή του όρου **αριθμός οξείδωσης** ατόμου ή (α.ο.). Η εισαγωγή του όρου κρίθηκε απαραίτητη καθώς η ηλεκτρονική θεωρία δεν ερμήνευε τις περιπτώσεις των ομοιοπολικών ενώσεων, οι οποίες δημιουργούνται με συνεισφορά ηλεκτρονίων από τα άτομα των στοιχείων που συμμετέχουν στον δεσμό, και όχι με αποβολή ή πρόσληψη ηλεκτρονίων. Έτσι οξείδωση ονομάζεται η αύξηση της αλγεβρικής τιμής του α.ο. ενός ατόμου που συμμετέχει στην αντίδραση, ενώ αναγωγή η μείωση του α.ο. του.

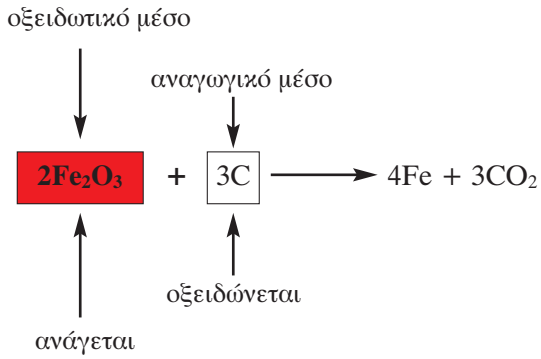
Ο α.ο. είναι το φορτίο, θετικό ή αρνητικό, που φαίνεται να έχει το άτομο ενός στοιχείου. Λέμε φαίνεται να έχει, γιατί υπάρχουν περιπτώσεις

Οι αριθμοί οξείδωσης μερικών μετάλλων και αμετάλλων στοιχείων.

Li^{+1}, Na^{+1}, K^{+1}, $H^{+1/-1}$, $Cu^{+1/+2}$, Ag^{+1}, $Au^{+1/+3}$, Ca^{+2}, Ba^{+2}, Mg^{+2}, Zn^{+2}, $Fe^{+2/+3}$, $Pt^{+2/+4}$, Hg^{+2}, $Sn^{+2/+4}$, $Mn^{+2/+4/+7}$, Al^{+3}.
$C^{+4/-4}$, $P^{+3/+5/+7}$, F^{-1}, $X^{-1/+1/+3/+5/+7}$ (X = Cl, Br, I), $N^{-3/+2/+3/+4/+5}$, $S^{-2/+2/+4/+6}$, $O^{-2/-1}$.

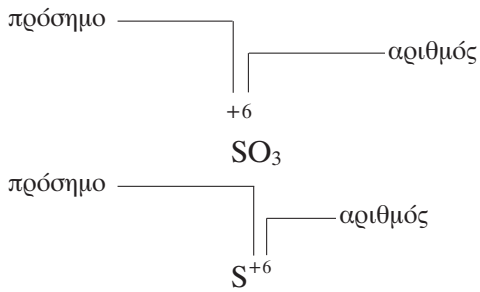
όπου ταυτίζεται με το πραγματικό φορτίο του ιόντος (π.χ. Na^+ α.ο. = +1) και περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ένδειξη πραγματικού ηλεκτρικού φορτίου στο άτομο που αποδίδεται (π.χ. CO_2 α.ο. C = +4)

Στην αντίδραση που φαίνεται στο σχήμα 1.3 ο άνθρακας (C) οξειδώνεται προς διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ενώ το ιόν Fe^{3+} που βρίσκεται στην ένωση Fe_2O_3 ανάγεται προς ουδέτερα άτομα σιδήρου (Fe).



Σχήμα 1.3. *Η αντίδραση αναγωγής του Fe_2O_3 από C όπου σημειώνεται το αναγωγικό και οξειδωτικό σώμα.*

Ο α.ο. του στοιχείου που συμμετέχει σε μία χημική ένωση γράφεται είτε ακριβώς πάνω από το σύμβολο του στοιχείου με πρώτο το πρόσημο και μετά τον αριθμό ή σαν εκθέτης πάνω και δεξιά του συμβόλου του στοιχείου με το πρόσημο να προηγείται του αριθμού.



Σχήμα 1.4 *Ο αριθμός οξείδωσης μπορεί να συμβολιστεί με τους δύο πιο πάνω τρόπους.*

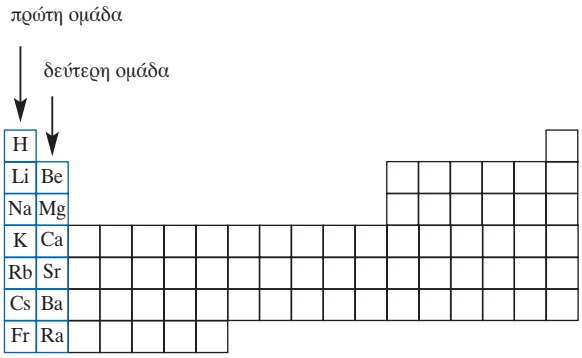
Ο υπολογισμός του α.ο. γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω συμβατικούς κανόνες:

1. **Ο αριθμός οξείδωσης του ατόμου ενός στοιχείου στην ελεύθερη κατάσταση είναι μηδέν.**
   - Το άτομο του Fe στην ελεύθερη μορφή του.
   - Το άτομο του N στο μόριο N_2
   - Το άτομο του S στο μόριο S_8

2. **Ο αριθμός οξείδωσης ενός μονατομικού ιόντος είναι ισοδύναμος με το φορτίο του.**
   - NaCl το ιόν Na^+ έχει α.ο. = +1
   - $CaCl_2$ το ιόν Ca^{2+} έχει α.ο. = +2
   - NaCl το ιόν Cl^- έχει α.ο. = –1

3. **Στις περισσότερες ενώσεις ο αριθμός οξείδωσης του Η είναι +1. Εξαίρεση αποτελούν τα υδρίδια των μετάλλων της 1ης και 2ης ομάδας του περιοδικού πίνακα, στα οποία ο αριθμός οξείδωσης του Η είναι -1.**
   - Θειικό οξύ (H_2SO_4) το Η έχει α.ο. = +1
   - Νερό (H_2O) το Η έχει α.ο. = +1
   - Υδρίδιο του καλίου (KH) το Η έχει α.ο.= –1

Πρόσεξε ότι...
Το φορτίο ενός μονο - ή πολυατομικού ιόντος συμβολίζεται με τον αριθμό να προηγείται του προσήμου, ενώ ο α.ο. με το πρόσημο να προηγείται του αριθμού.
Για παράδειγμα, το ιόν του ασβεστίου έχει φορτίο 2+ και αριθμό οξείδωσης +2.

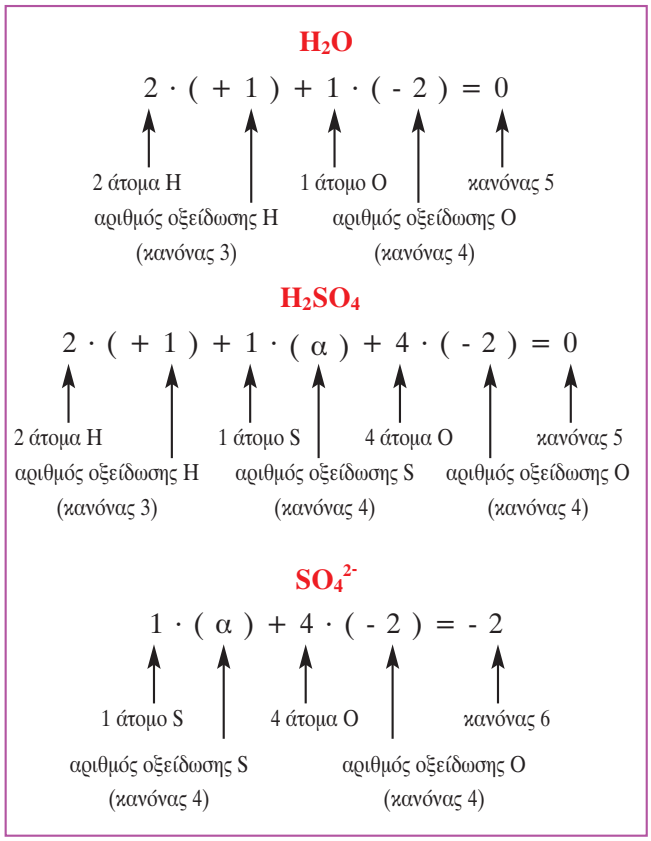


Σχήμα 1.5. *Η 1η και 2η ομάδα του περιοδικού πίνακα.*

4. **Στις περισσότερες ενώσεις ο αριθμός οξείδωσης του οξυγόνου είναι –2. Εξαίρεση αποτελούν τα υπεροξείδια όπου είναι –1 και η ένωση OF_2 που είναι +2.**
   - νερό (H_2O) το Ο έχει α.ο. = –2
   - Θειικό οξύ (H_2SO_4) το Ο έχει α.ο. = –2

- Υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) το O έχει α.ο.= –1

5. Το άθροισμα των αριθμών οξείδωσης για όλα τα άτομα σε ένα ουδέτερο μόριο ή σε μία χημική ένωση είναι μηδέν, ενώ σε ένα πολυατομικό ιόν είναι ίσο με το φορτίο του ιόντος.



Σχήμα 1.6. *Αναλυτικός τρόπος προσδιορισμού του αριθμού οξείδωσης για τα ουδέτερα μόρια H_2O, H_2SO_4 και του ιόντος SO_4^{2-}.*

6. Σε ενώσεις του τύπου $A_\chi B_\psi$ που δεν περιέχουν μεταλλικό στοιχείο το περισσότερο ηλεκτραρνητικό στοιχείο σημειώνεται με τον αρνητικό αριθμό οξείδωσης.

- Τριχλωριούχος φωσφόρος (PCl_3). Ο φώσφορος (P) έχει α.ο. = +3 ενώ το χλώριο (Cl) = -1

- Τετραχλωράνθρακας (CCl_4). Ο άνθρακας (C) έχει α.ο. = +4 ενώ το Cl = -1.

Η εισαγωγή λοιπόν του αριθμού οξείδωσης μας έδωσε την δυνατότητα να περιγράψουμε το άτομο που οξειδώνεται, σαν εκείνο το οποίο αυξάνει τον α.ο. του, ενώ το άτομο που ανάγεται σαν εκείνο που μειώνει τον α.ο. του. Συνεπώς στην αντίδραση:

$$4Fe\ (s) + 3O_2\ (g) \rightarrow 2Fe_2O_3\ (s)$$

ο σίδηρος (Fe) με α.ο. = 0, (σύμφωνα με τον κανόνα -1-) αυξάνοντάς τον σε +3 οξειδώνεται (βλέπε υποδειγματικό πρόβλημα 1), ενώ το O_2 με α.ο. = 0 (κανόνας -1-) μειώνοντάς τον σε –2 (κανόνας -4-), ανάγεται.

Όλα τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα δεν έχουν την ίδια τάση για αύξηση ή ελάττωση του α.ο. τους. Έτσι τα μέταλλα έχουν την τάση να αποβάλλουν ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας σταθερή ηλεκτρονική δομή, ενώ τα αμέταλλα έχουν την τάση να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια.

Συνεπώς τα μέταλλα έχουν την τάση να προκαλούν **αναγωγές** και γι'αυτό ονομάζονται **αναγωγικά μέσα**, ενώ τα αμέταλλα έχουν την τάση να προκαλούν **οξειδώσεις** και γι'αυτό ονομάζονται **οξειδωτικά μέσα**.

Η αναγωγική ισχύς των μετάλλων αυξάνεται από δεξιά προς τα αριστερά στην παρακάτω σειρά μετάλλων. Η αναγωγική ισχύς συχνά ονομάζεται και **σειρά ηλεκτροθετικότητας**.

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Fe, Pb, H_2, Cu, Ag, Hg, Pt, Au.

← Αύξηση αναγωγικής ισχύος
Αύξηση ηλεκτροθετικότητας

Αντίστοιχα η οξειδωτική ισχύς των αμετάλλων αυξάνεται από δεξιά προς τα αριστερά στην παρακάτω σειρά αμετάλλων. Η οξειδωτική ισχύς συχνά ονομάζεται και **σειρά ηλεκτραρνητικότητας.**

F_2, Cl_2, Br_2, I_2, O_2, S...,

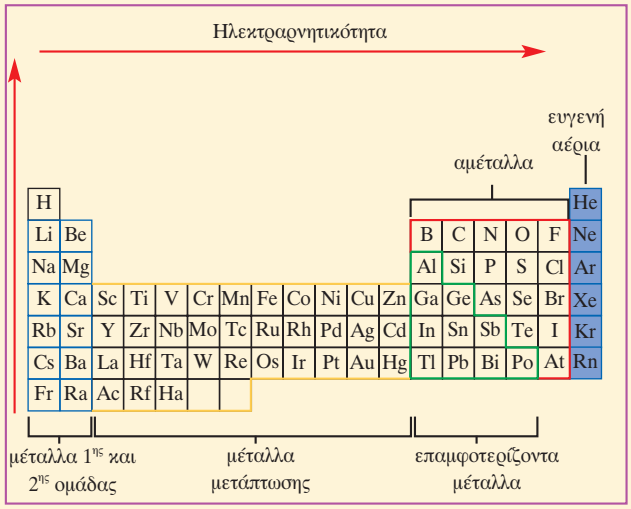
← Αύξηση οξειδωτικής ισχύος
Αύξηση ηλεκτραρνητικότητας

Στη σειρά αυτή δεν εμφανίζονται τα υπόλοιπα αμέταλλα (P, N, C κ.λ.π.) τα οποία θεωρούνται ότι έχουν μικρότερη οξειδωτική ισχύ από το S.

Γνωρίζεις ότι....

Ηλεκτραρνητικότητα κατά Pauling είναι μέτρο της ικανότητας ενός ατόμου σε ένα μόριο να έλκει ηλεκτρόνια προς το μέρος του.

Η ικανότητα αυτή αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά και από κάτω προς τα επάνω στον περιοδικό πίνακα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 1.7. *Μεταβολή της ηλεκτραρνητικότητας κατά Pauling στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων.*

Σημειώνεται ότι η ηλεκτραρνητικότητα κατά Pauling δεν πρέπει να συγχέεται με τη σειρά ηλεκτραρνητικότητας. Η τελευταία δείχνει την τάση που έχουν τα στοιχεία να αναχθούν και να οξειδώσουν άλλα στοιχεία. Για το λόγο αυτό είναι σωστότερο η σειρά ηλεκτραρνητικότητας να αναφέρεται ως σειρά οξειδωτικής ισχύος.

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1

Χρησιμοποιώντας τους συμβατικούς κανόνες υπολογισμού του α.ο. να αποδοθούν οι αριθμοί οξείδωσης των στοιχείων των ενώσεων NaCl, Fe_2O_3 και του πολυατομικού ιόντος HCO_3^-

ΛΥΣΗ

- **NaCl**
  Η ένωση NaCl αποτελείται από το ιόν Na^+ και το ιόν Cl^-. Με βάση τον κανόνα (2) ο α.ο. ισούται με το φορτίο του ιόντος και συνεπώς οι α.ο για το μεν Na^+ είναι = +1 για το δε Cl^- είναι = –1.
- **Fe_2O_3**
  Με βάση τον κανόνα (4) το οξυγόνο έχει α.ο.=–2
  Με βάση τον κανόνα (5) το άθροισμα όλων των α.ο. σε μία χημική ένωση είναι μηδέν.
  Έτσι:
  Τρία άτομα οξυγόνου $3\cdot(-2) = -6$
  Δύο άτομα σιδήρου $2\cdot(\alpha) = 2\alpha +$
  $-6 + 2\alpha = 0$
  οπότε $\alpha = +3$
  Άρα ο α.ο. του σιδήρου είναι +3.
- **HCO_3^-**
  Με βάση τον κανόνα (3) το υδρογόνο έχει α.ο. = +1
  Με βάση τον κανόνα (4) το οξυγόνο έχει α.ο. = –2
  Με βάση τον κανόνα (5) το άθροισμα όλων των α.ο. σε ένα πολυατομικό ιόν είναι ίσο με το φορτίο του. Δηλαδή στη περίπτωση του HCO_3^- = -1
  Έτσι:
  Ένα άτομο υδρογόνου $1\cdot(+1) = +1$
  Τρία άτομα οξυγόνου $3\cdot(-2) = -6$
  Ένα άτομο άνθρακα $1\cdot(\alpha) = \alpha +$
  $+1-6+\alpha= -1$
  οπότε $\alpha = +4$
  Άρα ο α.ο. του άνθρακα είναι +4.

1.3 ΗΜΙΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗΣ

1.3.1 Τα κυριότερα οξειδωτικά και αναγωγικά μέσα

Όπως έχουμε ήδη πει, σε κάθε αντίδραση οξειδοαναγωγής συμμετέχουν ένα οξειδωτικό και ένα αναγωγικό μέσο. Στούς πίνακες που ακολουθούν σημειώνονται τα κυριότερα από αυτά.

ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟ ΜΕΣΟ

- Περιέχει άτομο στοιχείου που ανάγεται.
- Περιέχει άτομο στοιχείου, που προσλαμβάνει ηλεκτρόνια και ελαττώνει έτσι τον α.ο. του
- Προκαλεί οξείδωση.

ΑΝΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΣΟ

- Περιέχει άτομο στοιχείου που οξειδώνεται.
- Περιέχει άτομο στοιχείου, που αποβάλλει ηλεκτρόνια και αυξάνει έτσι τον α.ο. του
- Προκαλεί αναγωγή.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1.1 οξειδωτικά μέσα είναι, τα μεταλλοϊόντα στα οποία το μέταλλο βρίσκεται σε υψηλή οξειδωτική κατάσταση, τα ελεύθερα αμέταλλα και ενώσεις του οξυγόνου (οξείδια, οξέα, άλατα).

Πίνακας 1.1: *Τα κυριότερα οξειδωτικά σώματα.*

ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ

Μεταλλοπροϊόντα

$^{+3}Fe \longrightarrow {}^{+2}Fe$

$^{+4}Sn \longrightarrow {}^{+2}Sn$

$^{+2}Cu \longrightarrow {}^{+1}Cu$

Στοιχεία

$^{0}X_2 \longrightarrow {}^{-1}X$

(X = F, Cl, Br, I)

$^{0}O_2 \longrightarrow {}^{-2}O$

Οξείδια

$^{+2}CuO \longrightarrow {}^{0}Cu$

$^{+1}Ag_2O \longrightarrow {}^{0}Ag$

$^{+4}MnO_2 \longrightarrow {}^{+2}Mn$

$^{+4}SO_2 \longrightarrow {}^{0}S$

Οξέα

$^{+5}HNO_3\,\pi. \longrightarrow {}^{+4}NO_2$

$^{+5}HNO_3\,\alpha. \longrightarrow {}^{+2}NO_2$

$^{+6}H_2SO_4\,\pi.\theta. \longrightarrow {}^{+4}SO_2$

π=πυκνό, α=σταθερό

π.θ.=πυκνό και θερμό

Άλατα

$^{+7}KMnO_4 \xrightarrow{H^+} {}^{+2}Mn$

$^{+6}K_2Cr_2O_7 \xrightarrow{H^+} {}^{+3}Cr$

$^{+5}KClO_3 \xrightarrow{H^+} {}^{-1}KCl$

Πίνακας 1.2: *Τα κυριότερα αναγωγικά σώματα.*

ΑΝΑΓΩΓΙΚΑ

Μεταλλοπροϊόντα

$^{+2}Fe \longrightarrow {}^{+3}Fe$

$^{+2}Cu \longrightarrow {}^{+1}Cu$

Μέταλλα

$^{0}Fe \longrightarrow {}^{+3}Fe$

$^{0}Al \longrightarrow {}^{+3}Al$

$^{0}H_2 \longrightarrow {}^{+1}H_2O$

Οξείδια

$^{+2}FeO \longrightarrow {}^{+3}Fe_2O_3$

$^{+2}CuO \longrightarrow {}^{+1}Cu_2O$

Οξέα

$^{-1}HX \longrightarrow {}^{0}X_2$

X=Cl, Br, I

$^{-2}H_2S \longrightarrow {}^{0}S$

Βάσεις

$^{+3}NH_3 \longrightarrow {}^{0}N_2$

Άλατα

$^{-1}KX \longrightarrow {}^{0}X_2$

X=Cl, Br, I

$^{-2}CuS \longrightarrow {}^{0}S$

$^{+4}Na_2SO_3 - {}^{+6}Na_2SO_4$

Αναγωγικά μέσα όπως προκύπτει και από τον πίνακα 1.2 είναι τα μεταλλοϊόντα στα οποία το μέταλλο βρίσκεται σε χαμηλή οξειδωτική κατάσταση, στοιχεία και ενώσεις που περιέχουν άτομο στοιχείου σε χαμηλή οξειδωτική κατάσταση.

Πίνακας 1.3: *Οι ημιαντιδράσεις οξείδωσης των κυριοτέρων μέταλλων*

Μέταλλο	Ημιαντίδραση
Λίθιο	$Li \rightarrow Li^{+} + e$
Κάλιο	$K \rightarrow K^{+} + e$
Βάριο	$Ba \rightarrow Ba^{2+} + 2e$
Ασβέστιο	$Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2e$
Νάτριο	$Na \rightarrow Na^{+} + e$
Μαγνήσιο	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e$
Αργίλιο	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e$
Μαγγάνιο	$Mn \rightarrow Mn^{2+} + 2e$
Ψευδάργυρος	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$
Σίδηρος	$Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e$
Μόλυβδος	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e$
Υδρογόνο	$H_2 \rightarrow 2H^{+} + 2e$
Χαλκός	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e$
Άργυρος	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e$
Υδράργυρος	$Hg \rightarrow Hg^{+} + e$
Λευκόχρυσος	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e$
Χρυσός	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e$

1.3.2 Γραφή ημιαντιδράσεων οξείδωσης και αναγωγής

Όλες οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μπορούν να αναλυθούν σε δύο **ημιαντιδράσεις**, οι οποίες πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Η μία αφορά στην οξείδωση και η άλλη στην αναγωγή δείχνοντας ευκρινώς τον αριθμό των ηλεκτρονίων που αποβάλλονται και προσλαμβάνονται α-

πό τα άτομα των στοιχείων που συμμετέχουν σ΄αυτές. Επίσης, το χημικό περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η συνολική αντίδραση οξειδοαναγωγής συμπεριλαμβάνεται κατά την γραφή των ημιαντιδράσεων αυτών.

Γενικά, για τη συμπλήρωση μιας ημιαντίδρασης οξείδωσης ή αναγωγής ακολουθούμε τα πιο κάτω βήματα:

ΒΗΜΑ 1

Γράφουμε το οξειδωτικό ή αναγωγικό σώμα και το προϊόν που δίνει, προσέχοντας τον αριθμό ατόμων του στοιχείου όπου μεταβάλλει τον αριθμό οξείδωσής του, να είναι ο ίδιο και στα δύο μέλη της ημιαντίδρασης.

οξειδωτικό σώμα		προϊόν
NO_3^-	→	NO_2
|		|
1 άτομο N		1 άτομο N

ΒΗΜΑ 2

Προσθέτουμε τόσα μόρια νερού σε εκείνο το μέλος της αντίδρασης όπου απαιτούνται, έτσι ώστε να έχουμε τον ίδιο αριθμό ατόμων οξυγόνου και στα δύο μέλη της ημιαντίδρασης.

NO_3^-	→	NO_2	+	H_2O
|		|		|
3 άτομα O		2 άτομα O	+	1 άτομο O

ΒΗΜΑ 3

Προσθέτουμε τόσα ιόντα H^+ σε εκείνο το μέλος της αντίδρασης όπου απαιτούνται, έτσι ώστε να έχουμε τον ίδιο αριθμό ατόμων υδρογόνου και στα δύο μέλη της ημιαντίδρασης.

$2H^+$	+	NO_3^-	→	NO_2	+	H_2O
|						|
2 ιόντα H^+						2 άτομα H

Ισοστάθμιση λέγεται η «τακτοποίηση» της μάζας, του φορτίου ή άλλου μεγέθους σε μια χημική εξίσωση, ώστε αυτά να είναι ίσα στα δύο μέλη της.

ΒΗΜΑ 4

Ισοσταθμίζουμε το φορτίο προσθέτοντας ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία) σε εκείνο το μέλος της ημιαντίδρασης που χρειάζονται.

$$2H^+ + NO_3^- + e \rightarrow NO_2 + H_2O$$

$$2\cdot(+1) + (-1) + (-1) = 0 + 0$$

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2

Να γραφούν οι ημιαντιδράσεις των πιο κάτω οξειδωτικών σωμάτων: Cl_2, MnO_2, $K_2Cr_2O_7$

ΛΥΣΗ

- **Cl_2**

Βήμα 1: Γράφουμε το οξειδωτικό σώμα και το προϊόν του.

$$Cl_2 \rightarrow 2Cl^-$$

2 άτομα Cl 2 άτομα Cl

Βήμα 4: Ισοσταθμίζουμε το φορτίο.

$$Cl_2 + 2e \rightarrow 2Cl^-$$

$$0 + 2\cdot(-1) = 2\cdot(-1)$$

- **MnO_2**

Βήμα 1: Γράφουμε το οξειδωτικό σώμα και το προϊόν του.

$$MnO_2 \rightarrow Mn^{2+}$$

Βήμα 2: Όσα άτομα Ο έχουμε στο πρώτο μέλος της αντίδρασης, τόσα μόρια νερού προσθέτουμε στο δεύτερο μέλος.

$$\mathbf{MnO_2 \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O}$$

2 άτομα O 2·1 = 2 άτομα O

Βήμα 3: Όσα άτομα H έχουμε στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης, τόσα ιόντα H^+ προσθέτουμε στο πρώτο μέλος.

$$\mathbf{4H^+ + MnO_2 \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O}$$

4 ιόντα $\mathbf{H^+}$ 2·2 = 4 άτομα H

Βήμα 4: Ισοσταθμίζουμε το φορτίο.

$$\mathbf{4H^+ + MnO_2 + 2e \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O}$$

$$4\cdot(+1) + 0 + 2\cdot(-1) = 1\cdot(+2) + 0$$

- **$K_2Cr_2O_7$**

Το διχρωμικό κάλιο βρίσκεται σε διάλυμα σε μορφή ιόντων διότι είναι ισχυρός ηλεκτρολύτης (δηλαδή $2K^+$ και $Cr_2O_7^{2-}$). Για να γράψουμε την ημιαντίδραση οξείδωσης χρησιμοποιούμε το ιόν $Cr_2O_7^{2-}$.

Βήμα 1: Γράφουμε το οξειδωτικό σώμα και το προϊόν του.

$$\mathbf{Cr_2O_7^{-2} \rightarrow 2Cr^{3+}}$$

2 άτομα Cr 2 άτομα Cr

Βήμα 2: Όσα άτομα O έχουμε στο πρώτο μέλος της αντίδρασης, τόσα μόρια νερού προσθέτουμε στο δεύτερο μέλος.

$$\mathbf{Cr_2O_7^{-2} \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O}$$

7 άτομα O 7·1 άτομα O

Βήμα 3: Όσα άτομα Η έχουμε στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης, τόσα ιόντα H^+ προσθέτουμε στο πρώτο μέλος.

$$\mathbf{14H^+ + Cr_2O_7^{2-} \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O}$$

14 ιόντα Η 7·2 = 14 άτομα Η

Βήμα 4: Ισοσταθμίζουμε το φορτίο.

$$\mathbf{14H^+ + Cr_2O_7^{2-} + 6e \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O}$$

$$14\cdot(+1) + (-2) + 6\cdot(-1) = 2\cdot(+3) + 0$$

1.4 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗΣ

1.4.1 Ταξινόμηση των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες

- Αντιδράσεις σύνθεσης.
- Αντιδράσεις αποσύνθεσης.
- Αντιδράσεις απλής αντικατάστασης.
- Αντιδράσεις πολύπλοκης μορφής.

1. **Αντιδράσεις σύνθεσης.**

Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να διακριθούν σε δύο περιπτώσεις, σε εκείνες που ένα μέταλλο και ένα αμέταλλο αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας μια ιοντική ένωση και σε εκείνες όπου δύο αμέταλλα αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας ομοιοπολικές ενώσεις.

Στην πρώτη περίπτωση το μέταλλο οξειδώνεται, δρα δηλαδή ως αναγωγικό σώμα, ενώ το αμέταλλο ανάγεται δρώντας ως οξειδωτικό σώμα. Τα κυριότερα οξειδωτικά αμέταλλα είναι το **οξυγόνο**, που σχηματίζει **οξείδια**, το **υδρογόνο**

Θυμάμαι ότι...
το οξειδωτικό σώμα περιέχει άτομο στοιχείου που ανάγεται και το αναγωγικό σώμα περιέχει άτομο στοιχείου που οξειδώνεται.

που σχηματίζει **υδρίδια**, και τα **αλογόνα** που σχηματίζουν αλογονούχα άλατα (**αλογονίδια**).

Π.χ.

$$4Fe\ (s) + 3O_2\ (g) \rightarrow 2Fe_2O_3\ (s)$$

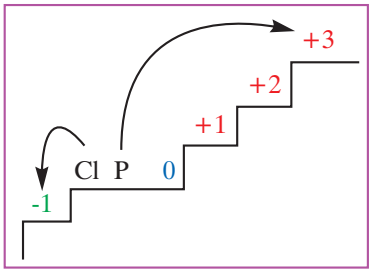
$$Mg\ (s) + H_2\ (g) \rightarrow MgH_2\ (s)$$

$$2Al\ (s) + 3Cl_2\ (g) \rightarrow 2AlCl_3\ (s)$$

Στη δεύτερη περίπτωση το αμέταλλο εκείνο που προηγείται στη σειρά ηλεκτραρνητικότητας αποκτά αρνητικό α.ο. και συνεπώς ανάγεται, ενώ εκείνο που ακολουθεί στη σειρά αυτή αποκτά θετικό α.ο. και συνεπώς οξειδώνεται.

Π.χ.

$$2P(g) + 3Cl_2\ (g) \rightarrow 2PCl_3\ (g)$$



Σχήμα 1.8. *Το Cl είναι περισσότερο οξειδωτικό από τον P. Έτσι το Cl μειώνει τον α.ο. του από 0 σε –1, ενώ ο P αυξάνει τον α.ο. του από 0 σε +3.*

Τα οξείδια των αμετάλλων σχηματίζονται από αντιδράσεις του οξυγόνου με αμέταλλα στοιχεία που είναι λιγότερο οξειδωτικά από αυτό. Έτσι το οξυγόνο δεν μπορεί να οξειδώσει τα αμέταλλα που προηγούνται στη σειρά ηλεκτραρνητικότητας, δηλαδή το F_2, Cl_2, Br_2 και I_2.

Γνωρίζεις ότι...
Η αντίδραση του O_2 με το N_2 αν και προβλέπεται από τη σειρά ηλεκτραρνητικότητας, εν τούτοις πραγματοποιείται μόνο παρουσία καταλυτών και σε υψηλή θερμοκρασία. Έτσι το πολύτιμο για τη ζωή οξυγόνο της ατμόσφαιρας, «διαφυλάσσεται» παρά την υψηλή περιεκτικότητα του αέρα σε άζωτο (80%)

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.1

Σκοπός του πειράματος είναι να συνθέσουμε θειούχο σίδηρο (FeS) από τα στοιχεία του δηλαδή Fe και S.

Μέθοδος:

Ζυγίζουμε 5,6 g σκόνης σιδήρου χρώματος γκρι και 3,2 g κίτρινης σκόνης θείου. Αναμιγνύουμε τις σκόνες σε ένα μικρό γουδί από πορσελάνη και ανακατεύουμε καλά. Όταν αποκτήσει ομοιογενές γκριζοκίτρινο χρώμα μεταφέρουμε την μισή περίπου ποσότητα σε έναν πυρίμαχο δοκιμαστικό σωλήνα τον οποίον θερμαίνουμε προσεκτικά συγκρατώντας τον με μια ξύλινη λαβίδα σε έναν λύχνο υγραερίου.

Όταν το μίγμα θερμανθεί, παρατηρούμε ότι ερυθροπυρώνεται γεγονός που σημαίνει ότι πραγματοποιείται η χημική αντίδραση:

$$Fe\ (s) + S\ (s) \rightarrow FeS\ (s)$$

Η νέα ένωση θειούχος σίδηρος που έχει σχηματιστεί έχει τις δικές της ιδιότητες που διαφέρουν από τις ιδιότητες των αντιδρώντων. Έτσι δεν έλκεται από μαγνήτη (όπως η σκόνη του σιδήρου), ενώ αν προσθέσουμε **μία σταγόνα αραιού** υδροχλωρικού οξέος παράγεται υδρόθειο (H_2S) με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή, σύμφωνα με την αντίδραση διπλής αντικατάστασης:

$$FeS\ (s) + 2HCl\ (aq) \rightarrow FeCl_2\ (aq) + H_2S\ (g)$$

Γνωρίζεις ότι...
Το ατομικό βάρος του Fe είναι 56 οπότε τα 5,6 γραμ-μάρια είναι 0,1mol. Το ίδιο ισχύει για το S (α.β. = 32) άρα τα 3,2 γραμμάρια είναι 0,1mol. Παρατηρούμε ότι η αναλογία των ποσοτήτων που χρησιμοποιείται εκφρασμένη σε mol ταυτίζεται με τη στοιχειομετρία της αντίδρασης.

! ΠΡΟΣΟΧΗ
Κατά την θέρμανση του δοκιμαστικού σωλήνα, το στόμιο του, δεν πρέπει να είναι στραμμένο προς εμάς ή άλλο παρευρισκόμενο άτομο.

! ΠΡΟΣΟΧΗ
Το υδρόθειο είναι τοξικό αέριο και δεν πρέπει να εισπνέεται. Για το λόγο αυτό η αντίδραση πρέπει να γίνεται σε απαγωγό αερίων.

2. Αντιδράσεις αποσύνθεσης.

Η κατηγορία αυτών των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων περιλαμβάνει αντιδράσεις όπου μία ένωση διασπάται δίνοντας στα προϊόντα της, ένα τουλάχιστον στοιχείο στην ελεύθερη του μορφή, ή χημικές ενώσεις όπου ένα τουλάχιστον στοιχείο τους εμφανίζεται με διαφορετικό α.ο. στα αντιδρώντα και στα προϊόντα.

Π.χ.

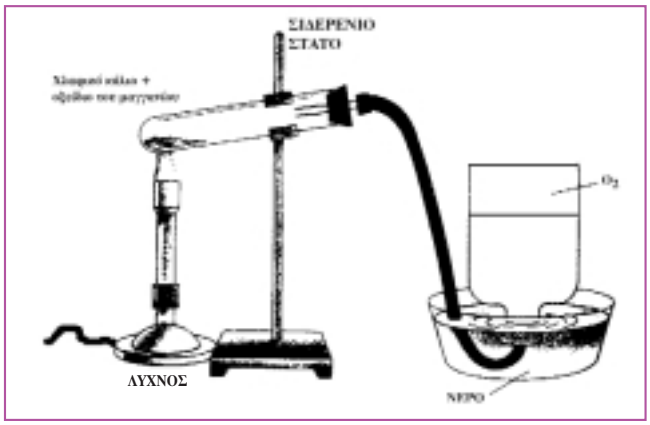
$$2HgO\ (s) \rightarrow 2Hg\ (l) + O_2\ (g)$$

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.2

Σκοπός του πειράματος είναι να διασπάσουμε με θέρμανση το χλωρικό κάλιο ($KClO_3$).

Μέθοδος:

Σε έναν πυρίμαχο δοκιμαστικό σωλήνα, που βρίσκεται υπό γωνία προσαρμοσμένος σε μια σιδερένια βάση, βάζουμε περίπου 2 g $KClO_3$ και μια μικρή ποσότητα MnO_2 ως καταλύτη, ενώ στο στόμιό του προσαρμόζουμε ένα διάτρητο ελαστικό πώμα, το οποίο με γυάλινο σωλήνα συνδέεται με λάστιχο για να παροχετεύονται τα αέρια που θα δημιουργηθούν στο εσωτερικό του. Η άλλη άκρη του λάστιχου οδηγεί στο στόμιο ενός ανεστραμμένου δοχείου που βρίσκεται σε μια διπλανή λεκάνη με νερό, όπως δείχνει το πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 1.9. *Πειραματική διάταξη θερμικής αποσύνθεσης $KClO_3$.*

Θερμαίνουμε προσεκτικά τον δοκιμαστικό σωλήνα με έναν λύχνο υγραερίου οπότε το $KClO_3$ διασπάται παράγοντας KCl και O_2 σύμφωνα με την αντίδραση:

! ΠΡΟΣΟΧΗ

Η αντίδραση μπορεί να γίνει βίαια γι' αυτό το πείραμα δεν πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα ασφάλειας.

$$2KClO_3\ (s) \rightarrow 2KCl\ (s) + 3O_2\ (g)$$

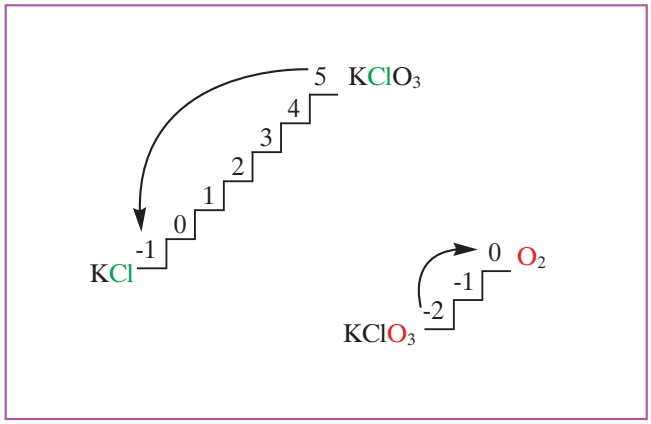
Το οξυγόνο που παράγεται από την αντίδραση παροχετεύεται στο ανεστραμμένο δοχείο εκτοπίζοντας το νερό από αυτό.

Στην αντίδραση αυτή τα άτομα που ανάγονται και οξειδώνονται βρίσκονται στην ίδια ένωση. Έτσι ένα από τα δύο μόρια του $KClO_3$ είναι το οξειδωτικό σώμα και το άλλο το αναγωγικό σώμα:

$$KClO_3\ (s) + KClO_3\ (s) \rightarrow 2KCl\ (s) + 3O_2\ (g)$$

οξειδωτικό αναγωγικό

Η μεταβολή των α.ο. του Cl και του O φαίνεται στο σχήμα 1.10.



Σχήμα 1.10. *Το Cl έχει μεταβολή του α.ο του κατά 6 (από 5 σε –1) ενώ το O κατά 2 (από –2 σε 0).*

3. Αντιδράσεις απλής αντικατάστασης.

Στις αντιδράσεις αυτού του τύπου ένα στοιχείο στην ελεύθερη μορφή του, αντικαθιστά ένα άλλο σε μια ένωση του. Έτσι, όταν πρόκειται για μέταλλα, το ελεύθερο μέταλλο οξειδώνεται, ενώ εκείνο που αντικαθίσταται ανάγεται. Είναι προφανές ότι η αντικατάσταση είναι πραγματοποιήσιμη όταν το ελεύθερο μέταλλο προηγείται

στη σειρά ηλεκτροθετικότητας από εκείνο της ένωσης.

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, **Zn**, Fe, Pb, H2, **Cu**, Ag, Hg, Pt, Au.

Π.χ.

$$\mathbf{Zn}\ (s) + CuSO_4\ (aq) \rightarrow \mathbf{Cu}\ (s) + ZnSO_4\ (aq)$$

Στην αντίδραση αυτή ο ψευδάργυρος (Zn) οξειδώνεται ενώ ο χαλκός (Cu) ανάγεται.

Στην περίπτωση όπου ένα αμέταλλο αντικαθιστά ένα άλλο, που έπεται στη σειρά ηλεκτραρνητικότητας, σε μία ένωσή του, το ελεύθερο αμέταλλο ανάγεται, δηλαδή δρα ως οξειδωτικό, ενώ το αμέταλλο που αντικαθίσταται, οξειδώνεται. Το ελεύθερο αμέταλλο πρέπει να προηγείται στη σειρά ηλεκτραρνητικότητας από αυτό που αντικαθιστά σύμφωνα με τη σειρά:

F_2, $\mathbf{Cl_2}$, Br_2, $\mathbf{I_2}$, O_2, S....

Π.χ.

$$\mathbf{Cl_2}\ (g) + 2NaI\ (aq) \rightarrow 2NaCl\ (aq) + I_2\ (aq)$$

Γνωρίζεις ότι...
Στην περίπτωση όπου το αμέταλλο έχει θετικό α.ο. σε μια χημική ένωση, αντικαθίσταται μόνο από επόμενο του στοιχείο στη σειρά ηλεκτραρνητικότητας. Έτσι το ελεύθερο στοιχείο αυξάνει τον α.ο. από μηδέν σε θετική τιμή δηλαδή οξειδώνεται.

$I_2 + 2KClO_3 \rightarrow 2KIO_3 + Cl_2$

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.3

Σκοπός του πειράματος είναι να δούμε την αντικατάσταση ενός μετάλλου από ένα άλλο που προηγείται στη σειρά ηλεκτροθετικότητας.

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, **Fe**, Pb, H2, **Cu**, Ag, Hg, Pt, Au.

Μέθοδος:

Σε έναν ποτήρι βρασμού που περιέχει υδατικό διάλυμα $CuSO_4$ σε συγκέντρωση περίπου 30% κατά όγκο, βυθίζουμε ένα σιδερένιο καρφί. Ύστερα από λίγο παρατηρούμε απόθεση μεταλλικού χαλκού (χαλκοκόκκινο χρώμα) επάνω στο σιδερένιο καρφί σύμφωνα με την αντίδραση:

Γνωρίζεις ότι...
30% κ.ο. σημαίνει 30g θειικού χαλκού σε 100 mL διαλύματος.

$$\mathbf{Fe}\ (s) + \mathbf{Cu}SO_4\ (aq) \rightarrow Cu\ (s) + FeSO_4\ (aq)$$

4. Αντιδράσεις πολύπλοκης μορφής.

Όταν οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είναι πολύπλοκες και συμμετέχουν σ'αυτές περισσότερα από δύο αντιδρώντα, δεν είναι δυνατόν να γράψουμε τη χημική εξίσωση αν δεν γνωρίζουμε τα προϊόντα της αντίδρασης, και δεν υπολογίσουμε τους στοιχειομετρικούς συντελεστές.

Τα προϊόντα προκύπτουν από τους πίνακες 1.1 και 1.2 των κυριότερων οξειδωτικών και αναγωγικών σωμάτων, ενώ για την εύρεση των συντελεστών ακολουθούμε την πιο κάτω μεθοδολογία:

ΒΗΜΑ 1

Γράφουμε τα αντιδρώντα και τα προϊόντα τους όπως δίνονται από τους πίνακες 1.1& 1.2.

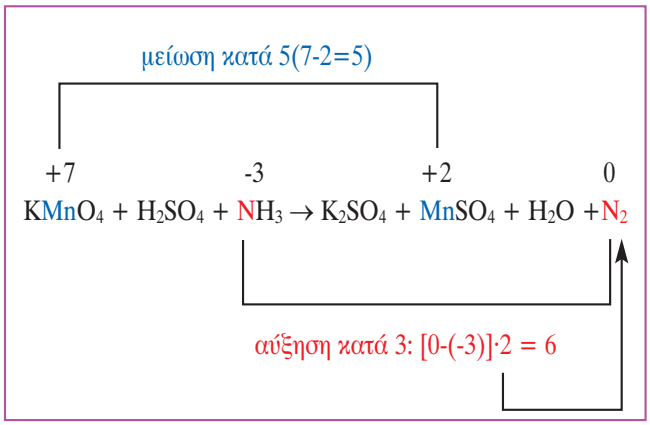
Π.χ.

$$KMnO_4 + H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow K_2SO_4 + MnSO_4 + H_2O + N_2$$

Έτσι, τα **προϊόντα** για το οξειδωτικό μέσο ($KMnO_4 + H_2SO_4$) είναι K_2SO_4 και $MnSO_4$, ενώ για την αμμωνία που είναι αναγωγική ουσία και οξειδώνεται, είναι το N_2.

ΒΗΜΑ 2

Σημειώνουμε τους α.ο. των στοιχείων που ανάγονται και οξειδώνονται και υπολογίζουμε την συνολική μεταβολή τους από το πρώτο στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης. Αν η μεταβολή προέρχεται ή αποδίδεται σε περισσότερα από ένα άτομα, τότε πολλαπλασιάζουμε τη μεταβολή επί τον αριθμό των ατόμων.



ΒΗΜΑ 3

Τοποθετούμε ως συντελεστές, στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης, σε αυτό που έχει αναχθεί την μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του οξειδωτικού, σε αυτό που έχει οξειδωθεί τη μεταβολή του α.ο. του αναγωγικού.

$$KMnO_4 + H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow K_2SO_4 + 6MnSO_4 + H_2O + 5N_2$$

ΒΗΜΑ 4

Ισοσταθμίζουμε τη μάζα στην εξίσωση.

- 6 άτομα Mn στο δεύτερο μέλος, άρα 6 $KMnO_4$ στο πρώτο.

$$6KMnO_4 + H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow K_2SO_4 + 6MnSO_4 + H_2O + 5N_2$$

- 5·2=10 άτομα N στο δεύτερο μέλος, άρα 10 NH_3 στο πρώτο.

$$6KMnO_4 + H_2SO_4 + 10NH_3 \rightarrow K_2SO_4 + 6MnSO_4 + H_2O + 5N_2$$

- 6 άτομα K στο πρώτο μέλος, άρα $3K_2SO_4$ στο δεύτερο.

$$6KMnO_4 + H_2SO_4 + 10NH_3 \rightarrow 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + H_2O + 5N_2$$

- 9 SO_4^{-2} (3+6) στο δεύτερο μέλος, άρα $9H_2SO_4$ στο πρώτο.

$$6KMnO_4 + 9H_2SO_4 + 10NH_3 \rightarrow 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + H_2O + 5N_2$$

- 2·9+10·3=48 άτομα Η στο πρώτο μέλος, άρα $24H_2O$ στο δεύτερο.

$$6KMnO_4 + 9H_2SO_4 + 10NH_3 \rightarrow 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 24H_2O + 5N_2$$

ΒΗΜΑ 5

Ελέγχουμε την ισοστάθμιση της μάζας μετρώντας τον συνολικό αριθμό ατόμων οξυγόνου και στα δύο μέλη της τελικής εξίσωσης.

6·4 + 9·4 = 60 στο πρώτο μέλος.

3·4 + 6·4 + 24 = 60 στο δεύτερο μέλος.

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3

Να γραφεί η αντίδραση του $K_2Cr_2O_7$ οξινισμένου με H_2SO_4 με $FeSO_4$

ΛΥΣΗ

- $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + FeSO_4 \rightarrow$

1. Γράφουμε τα αντιδρώντα και τα προϊόντα τους όπως δίνονται από τους πίνακες 1.1& 1.2.

$$K_2\mathbf{Cr_2}O_7 + H_2SO_4 + \mathbf{Fe}SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + \mathbf{Cr_2}(SO_4)_3 + \mathbf{Fe_2}(SO_4)_3 + H_2O$$

2. Σημειώνουμε τους α.ο. των στοιχείων που ανάγονται και οξειδώνονται και υπολογίζουμε την συνολική μεταβολή τους από το πρώτο στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης.

μείωση κατά 3: (6-3)·2 = 6

+6 +2 +3 +3

$$KCr_2O_7 + H_2SO_4 + FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$$

αύξηση κατά 1: (2-3)·2 = 2

Παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές των μεταβολών μπορούν να απλοποιηθούν μεταξύ τους δηλαδή 6/2 = 3/1.

3. Τοποθετούμε ως συντελεστές, στο δεύτερο μέλος της αντίδρασης, στο $Fe_2(SO_4)_3$ το 3 και στο $Cr_2(SO_4)_3$ το 1.

$$K_2Cr_2O_7+H_2SO_4+FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ H_2O$$

4. Ισοσταθμίζουμε τη μάζα στην εξίσωση.

- 2 άτομα Cr στο δεύτερο μέλος, άρα 1 $K_2Cr_2O_7$ στο πρώτο.

$$K_2Cr_2O_7+H_2SO_4+FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ H_2O$$

- 3·2=6 άτομα Fe στο δεύτερο μέλος, άρα 6 $FeSO_4$ στο πρώτο.

$$K_2Cr_2O_7+H_2SO_4+6FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ H_2O$$

- 2 άτομα K στο πρώτο μέλος, άρα 1 K_2SO_4 στο δεύτερο.

$$K_2Cr_2O_7+H_2SO_4+6FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ H_2O$$

- 13 SO_4^{-2} (1+3+9) στο δεύτερο μέλος, άρα 7 H_2SO_4 στο πρώτο (υπάρχουν ήδη 6 SO_4^{-2} από το $FeSO_4$ έτσι ώστε 7+6=13).

$$K_2Cr_2O_7+7H_2SO_4+6FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ H_2O$$

- 2·7=14 άτομα H στο πρώτο μέλος, άρα $7H_2O$ στο δεύτερο.

$$K_2Cr_2O_7+7H_2SO_4+6FeSO_4 \rightarrow K_2SO_4+ Cr_2(SO_4)_3+3Fe_2(SO_4)_3+ 7H_2O$$

5. Ελέγχουμε την ισοστάθμιση της μάζας μετρώντας τον συνολικό αριθμό ατόμων οξυγόνου και στα δύο μέλη της τελικής εξίσωσης.
   7 + 7·4 + 6·4 = 59 στο πρώτο μέλος.

$4 + 3 \cdot 4 + 3 \cdot 4 \cdot 3 + 7 = 59$ στο δεύτερο μέλος.

Γνωρίζεις ότι...
Τα μέταλλα τα οποία βρίσκονται στη σειρά ηλεκτροθετικότητας μετά το H_2, δηλαδή Cu, Hg, Ag, Pt, Au, δεν αντιδρούν με τα μη οξειδωτικά οξέα.

1.3.2 Επίδραση των οξέων σε μέταλλα και αμέταλλα

Τα οξέα αντιδρούν με τα μέταλλα με δύο τρόπους.

Τα **μη οξειδωτικά** οξέα αντικαθιστούν τα όξινα υδρογόνα τους με τα ιόντα των μετάλλων εκείνων που είναι πριν το $\mathbf{H_2}$ στην σειρά ηλεκτροθετικότητας των μετάλλων, στη **χαμηλότερη οξειδωτική τους κατάσταση** (π.χ. Fe^{2+} και όχι Fe^{3+}) και παράγουν αέριο υδρογόνο.

Π.χ.

$$Fe\ (s) + HCl\ (aq) \rightarrow FeCl_2\ (aq) + H_2\ (g)$$

$$Zn\ (s) + H_2SO_4\ \text{αραιό}\ (aq) \rightarrow ZnSO_4\ (aq) + H_2\ (g)$$

Τα **οξειδωτικά** οξέα (αραιό ή πυκνό HNO_3 και πυκνό-θερμό H_2SO_4) αντιδρούν με τα μέταλλα δίνοντας τα αντίστοιχα άλατά τους με το μέταλλο στην υψηλότερη οξειδωτική του κατάσταση (π.χ. Fe^{3+} και όχι Fe^{2+}), εκτός από τις περιπτώσεις που τα μέταλλα σχηματίζουν προστατευτικό στρώμα οξειδίου στην επιφάνειά τους (παθητική κατάσταση).

- **Μέταλλο + HNO_3 (αραιό)**

Το αραιό νιτρικό οξύ οξειδώνει όλα τα μέταλλα δίνοντας νιτρικά άλατα εκτός από το χρυσό (Au) και το λευκόχρυσο (Pt), ενώ το χρώμιο (Cr) μεταπίπτει σε παθητική κατάσταση. Τα μέταλλα οξειδώνονται στην υψηλότερη δυνατή οξειδωτική τους κατάσταση εκτός του υδραργύρου (Hg) και του μαγγανίου (Mn) που οξειδώνονται σε χαμηλότερες οξειδωτικές βαθμίδες.

Π.χ.

μεταβολή α.ο. = 3

μεταβολή α.ο. = 3

$$Fe + 4HNO_3 \text{ (αραιό)} \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NO + 2H_2O$$

Αυτά τα προϊόντα δίνει πάντα το αραιό HNO_3

- **Μέταλλο + HNO_3 (πυκνό)**

Το πυκνό νιτρικό οξύ οξειδώνει όλα τα μέταλλα δίνοντας νιτρικά άλατα εκτός από το χρυσό (Au) και το λευκόχρυσο (Pt), ενώ το χρώμιο (Cr), ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co), το νικέλιο (Ni) και το αργίλιο (Al) μεταπίπτουν σε παθητική κατάσταση. Τα μέταλλα οξειδώνονται στην υψηλότερη δυνατή οξειδωτική τους κατάσταση εκτός του μολύβδου (Pb), και του μαγγανίου (Mn) που οξειδώνονται σε χαμηλότερες οξειδωτικές βαθμίδες.

Π.χ.

μεταβολή α.ο. = 2

μεταβολή α.ο. = 1

$$Zn + 4HNO_3 \text{ (πυκνό)} \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

Αυτά τα προϊόντα δίνει πάντα το πυκνό HNO_3

- **Μέταλλο + H_2SO_4 (πυκνό και θερμό)**

Το πυκνό και θερμό θειικό οξύ οξειδώνει όλα τα μέταλλα δίνοντας θειικά άλατα, εκτός από το χρυσό (Au) και το λευκόχρυσο (Pt), ενώ ο μόλυβδος (Pb) μεταπίπτει σε παθητική κατάσταση. Τα μέταλλα οξειδώνονται στην υψηλότερη δυνατή οξειδωτική τους κατάσταση, εκτός του μαγγανίου (Mn) που οξειδώνεται σε χαμηλότερη οξειδωτική βαθμίδα.

Π.χ.

μεταβολή α.ο. = 2

μεταβολή α.ο. = 2

$$Cu + 2H_2SO_4\ (\pi.\theta.) \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

Αυτά τα προϊόντα δίνει πάντα το πυκνό και θερμό H_2SO_4

Τα **οξειδωτικά οξέα** οξειδώνουν επίσης διάφορα αμέταλλα όπως φαίνεται και στον πιο κάτω πίνακα 1.4

Πίνακας 1.4: *Η οξειδωτική δράση των οξειδωτικών οξέων σε μερικά αμέταλλα.*

ΟΞΥ	S	P	C	I_2
α. HNO_3	H_2SO_4	H_3PO_4	-	-
π. HNO_3	H_2SO_4	H_3PO_4	CO_2	HIO_3
π.θ. H_2SO_4	SO_2	H_3PO_4	CO_2	-

Π.χ.

μεταβολή α.ο. = 5

μεταβολή α.ο. = 2

$$2P + 5H_2SO_4\ (\pi.\theta.) \rightarrow 2H_3PO_4 + 5SO_2 + 2H_2O$$

Αυτά τα προϊόντα δίνει πάντα το πυκνό και θερμό H_2SO_4

ΠΕΙΡΑΜΑ 1.4

Σκοπός του πειράματος είναι να δούμε την αντικατάσταση του όξινου υδρογόνου ενός οξέος από ένα μέταλλο που προηγείται του Η στη σειρά ηλεκτροθετικότητας.

Μέθοδος:

Σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετούμε ρινίσματα ψευδαργύρου (Zn) και με ένα σταγονόμετρο ρίχνουμε πάνω σε αυτά μερικές σταγόνες διαλύματος HCl, οπότε παρατηρούμε να παράγονται φυσαλίδες υδρογόνου σύμφωνα με την

αντίδραση:

$$Zn\ (s) + 2HCl\ (aq) \rightarrow ZnCl_2\ (aq) + H_2\ (g)$$

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗΣ

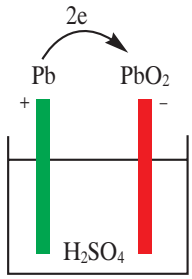
1.5.1 Βολταϊκά στοιχεία (μπαταρίες)

Τα βολταϊκά στοιχεία παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα ως αποτέλεσμα των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό τους. Με τις αντιδράσεις αυτές η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρά την μεγάλη τους απόδοση χρησιμοποιούνται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, λόγω του μεγάλου κόστους των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή τους.

Τα πιο κοινά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Μπαταρίες αυτοκινήτων.

Οι μπαταρίες αυτού του τύπου αποτελούνται από 6 βολταϊκά στοιχεία μολύβδου των 2V περίπου το κάθε ένα συνδεδεμένα σε σειρά, έτσι ώστε η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη της να είναι 12V. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια μολύβδου εκ των οποίων η άνοδος (+) είναι επικαλυμμένη με σπογγώδη μεταλλικό μόλυβδο (Pb) , ενώ η κάθοδος (-) με οξείδιο του μολύβδου (PbO_2) . Τα δύο ηλεκτρόδια βρίσκονται βυθισμένα μέσα σε διάλυμα H_2SO_4, όπως δείχνει το πιο κάτω σχήμα 1.11.



ΑΝΟΔΟΣ (+):

$Pb \rightarrow Pb^{2+}$ 1ο βήμα

$\mathbf{Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e}$ 4ο βήμα

ΚΑΘΟΔΟΣ (-):

$PbO_2 \rightarrow Pb^{2+}$ 1ο βήμα

$PbO_2 \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$ 2ο βήμα

$PbO_2 + 4H^+ \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$ 3ο βήμα

$\mathbf{2e + PbO_2 + 4H^+ \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O}$

4ο βήμα

Σχήμα 1.11. *Σχηματική παράσταση βολταϊκού στοιχείου Μολύβδου.*

Γνωρίζεις ότι...
Ο έλεγχος της μπαταρίας γίνεται εμμέσως με τον έλεγχο της πυκνότητας των υγρών της. Όταν αυτή είναι μικρότερη από 1,2 g/mL η μπαταρία χρειάζεται επαναφόρτιση. Η επαναφόρτιση επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας εξωτερικής πηγής που αναγκάζει τις ημιαντιδράσεις να πραγματοποιηθούν αντίστροφα.

Έτσι, στην άνοδο ο μόλυβδος οξειδώνεται αποβάλλοντας δύο ηλεκτρόνια, ενώ στην κάθοδο το οξείδιο του μολύβδου ανάγεται προσλαμβάνοντας τα δύο ηλεκτρόνια. Η συνολική αντίδραση που προκύπτει από τις ημιαντιδράσεις που γίνονται στην άνοδο και την κάθοδο είναι η ακόλουθη:

$$Pb\,(s) + PbO_2\,(s) + 4H^+(aq) \rightarrow 2Pb^{2+}\,(aq) + 2H_2O\,(l)$$

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της τα ιόντα του Pb^{2+} που παράγονται αντιδρούν με τα ιόντα SO_4^{2-} προς στερεό $PbSO_4$ που επικάθεται στην κάθοδο. Συνεπώς το H_2SO_4 καταναλώνεται και η πυκνότητα των «υγρών» της μπαταρίας μειώνεται από 1,3 g/mL σε λιγότερο από 1,2 g/mL. Τότε η μπαταρία χρειάζεται επαναφόρτιση.

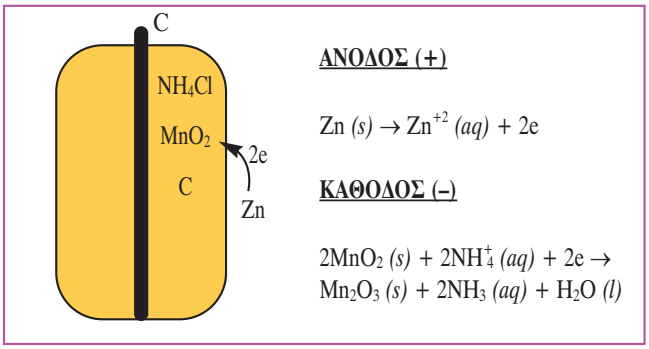
2. Ξηρές μπαταρίες (στοιχείο Leclanche).

Οι κοινές μπαταρίες αυτού του τύπου έχουν ευρύτατες εφαρμογές στην καθημερινή ζωή. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια εκ των οποίων το ένα είναι μεταλλικός ψευδάργυρος (Zn) και αποτελεί την άνοδο (+), ενώ το άλλο είναι ράβδος γραφίτη (C) βυθισμένη σε μια «υγρή πάστα» NH_4Cl , MnO_2 και C που αποτελεί την κάθοδο (-), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.12.

Οι αντιδράσεις που συμβαίνουν στα ηλεκτρόδια

είναι αρκετά πολύπλοκες και σχετίζονται με την ταχύτητα αποφόρτισης του στοιχείου. Γενικά όμως μπορούμε να πούμε ότι ο Zn οξειδώνεται σε Zn^{2+} αποβάλλοντας ηλεκτρόνια τα οποία προσλαμβάνονται από το MnO_2 που ανάγεται προς χαμηλότερες οξειδωτικές καταστάσεις του μαγγανίου.

Στις αλκαλικές μπαταρίες αντί για NH_4Cl χρησιμοποιείται KOH μειώνοντας έτσι τη διάβρωση της ανόδου από το όξινο NH_4Cl και παρατείνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διάρκεια λειτουργίας τους.



Σχήμα 1.12. *Σχηματική παράσταση ξηρού στοιχείου.*

1.5.2 Ηλεκτρόλυση

Κατά την ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται ηλεκτρικό ρεύμα για την πραγματοποίηση οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων με σκοπό την παραγωγή κάποιων προϊόντων. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική.

Για παράδειγμα, κατά την ηλεκτρόλυση του νερού παράγεται H_2 και O_2, σύμφωνα με την αντίδραση:

αύξηση του α.ο. κατά 2

$$\overset{+1}{2H_2}\overset{-2}{O} \rightarrow \overset{0}{2H_2} + \overset{0}{O_2}$$

μείωση του α.ο. κατά 1

Οι εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης σήμερα εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα της παραγωγής. Αν και είναι ιδιαίτερα ακριβή μέθοδος, χρησι-

μοποιείται στη βιομηχανία για τη παραγωγή καθαρών μετάλλων από τήγματα αλάτων τους (Al, Na, κ.λ.π.) , πρώτων υλών (NaOH, $NaHCO_3$, κ.λ.π.), σε επιμεταλλωτήρια κ.λ.π.

1.5.3 Φωτογραφία

Μια εφαρμογή των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής συναντούμε στην ασπρόμαυρη φωτογραφία. Τα films περιέχουν μια φωτοευαίσθητη επιφάνεια αποτελούμενη κυρίως από AgBr και άλλα αλογονίδια του αργύρου (AgCl, AgI).

Όταν σε μια περιοχή του film πέσει φωτεινή ακτινοβολία, ο βρωμιούχος άργυρος που εκτίθεται με αυτό τον τρόπο στο φως ενεργοποιείται (AgBr*) μέσω ενός μηχανισμού που μέχρι σήμερα δεν είναι πλήρως κατανοητός, ενώ εκείνος που δεν έχει εκτεθεί παραμένει ως AgBr .

Στη συνέχεια το film τοποθετείται σε διάλυμα που περιέχει την αναγωγική ουσία υδροκινόνη [$C_6H_4(OH)_2$] η οποία αντιδρά μόνο με τον ενεργοποιημένο AgBr* ανάγοντας τον σε μεταλλικό άργυρο. Η ίδια οξειδώνεται και δίνει κινόνη [$C_6H_4O_2$]. Η συνολική αντίδραση είναι:

$$2AgBr^* + C_6H_4(OH)_2 \rightarrow 2Ag + C_6H_4O_2 + 2HBr$$

Κατόπιν αφαιρείται με τη διαδικασία της «στερέωσης» ο AgBr που δεν είχε εκτεθεί στο φως , αφήνοντας να φανεί η διαφανής ζελατίνη επάνω στην οποία είναι επιστρωμένη η φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Έτσι εμφανίζεται μαύρο (ο μεταλλικός άργυρος σε λεπτό διαμερισμό έχει χρώμα μαύρο) εκεί όπου έχει γίνει έκθεση στο φως και άχρωμο εκείνο το σημείο του film που δεν έχει φωτιστεί. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα αρνητικά.

Η προβολή ενός αρνητικού, σε χαρτί με ανάλογη φωτοευαίσθητη επιφάνεια, επιτρέπει στο φως να περνά μέσα από τα διαφανή σημεία του film, που όταν εμφανιστεί με την ίδια διαδικασία δημιουργεί ένα **αρνητικό του αρνητικού** δηλαδή μια θετική φωτογραφία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Η αύξηση του αριθμού οξείδωσης ενός ατόμου ονομάζεται οξείδωση, ενώ αναγωγή ονομάζεται η ελάττωση του.
- Ο αριθμός οξείδωσης ενός ατόμου προσδιορίζεται με την χρήση συμβατικών κανόνων (§1.2.3).
- Μια ημιαντίδραση οξείδωσης συνυπάρχει με μια ημιαντίδραση αναγωγής, ώστε συνολικά να συμβαίνει μια οξειδοαναγωγική αντίδραση.
- Τα μέταλλα είναι ηλεκτροθετικά και αναγωγικά, ενώ τα αμέταλλα ηλεκτραρνητικά και οξειδωτικά.
- Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής χωρίζονται σε 4 κατηγορίες: σύνθεσης, αποσύνθεσης, απλής αντικατάστασης και πολύπλοκης μορφής.
- Οι μπαταρίες, η ηλεκτρόλυση, η φωτογραφία κ.λ.π. είναι μερικές εφαρμογές των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Α. Σε τι διαφέρει η ο ορισμός της οξείδωσης σύμφωνα με την ηλεκτρονική θεωρία από τον αρχικό ορισμό.

   Β. Οι πιο κάτω προτάσεις είναι σωστές ή λάθος;
   I) Οξειδωτική ένωση είναι εκείνη που περιέχει άτομο ενός στοιχείου που ανάγεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια.
   II) Αναγωγική ένωση είναι εκείνη που περιέχει άτομο ενός στοιχείου που ανάγεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια.
   III) Οξειδωτική ένωση είναι εκείνη που περιέχει άτομο ενός στοιχείου που οξειδώνεται και αποβάλλει ηλεκτρόνια.
   IV) Οξειδωτική ένωση είναι εκείνη που περιέχει άτομο ενός στοιχείου που ανάγεται και αυξάνει τον α.ο. του.
   V) Αναγωγική ένωση είναι εκείνη που περιέχει άτομο ενός στοιχείου που οξειδώνεται, αποβάλλει ηλεκτρόνια και αυξάνει τον α.ο. του.

   Γ. Να υπολογιστεί ο αριθμός οξείδωσης στις πιο κάτω ενώσεις και πολυατομικά ιόντα:

HNO_3	$KMnO_4$	$K_2Cr_2O_7$
H_3PO_4	MgH_2	$Cr_2O_7^{2-}$
NO_2	Cl_2	PO_4^{3-}
H_2S	H_2SO_3	MnO_4^-

   Δ. Πώς αυξάνεται η ηλεκτραρνητικότητα κατά Pauling των στοιχείων στον περιοδικό πίνακα;

   Ε. Κατατάξτε τα πιο κάτω μέταλλα σε σειρά αυξανόμενης ηλεκτροθετικότητας.
   H_2, Li, Fe, Cu, Ca, Au.

2. Να συμπληρωθούν οι πιο κάτω ημιαντιδράσεις οξείδωσης ή αναγωγής.

$FeO \rightarrow Fe_2O_3$	$SO_2 \rightarrow S$	$CuO \rightarrow Cu_2O$
$Ag_2O \rightarrow Ag$	$NH_3 \rightarrow N_2$	$SO_3^{-2} \rightarrow SO_4^{-2}$
$ClO_3^- \rightarrow Cl^-$	$Cl^- \rightarrow Cl_2$	$Sn^{+4} \rightarrow Sn^{+2}$

3. Α. Να συμπληρωθούν οι πιο κάτω αντιδράσεις απλής αντικατάστασης :

$Zn + H_2SO_4$ (αραιό) $\rightarrow$	$Mg + Zn(NO_3)_2 \rightarrow$
$Cu + HCl \rightarrow$	$Hg + H_2SO_4$ (αραιό) $\rightarrow$
$Br_2 + KCl \rightarrow$	$Br_2 + KI \rightarrow$
$Ag + Zn(NO_3)_2 \rightarrow$	$Al + H_2SO_4$ (αραιό) $\rightarrow$

$Fe + CuSO_4 \rightarrow$ $I_2 + KCl \rightarrow$

Β. Να συμπληρωθούν οι πιο κάτω αντιδράσεις οξειδωτικών οξέων με μέταλλα και αμέταλλα:

$Ag + HNO_3$ (αρ.) $\rightarrow$ $Ag + HNO_3$ (π.) $\rightarrow$
$Al + H_2SO_4$ (π.θ.) $\rightarrow$ $Mg + H_2SO_4$ (π.θ.) $\rightarrow$
$Cu + HNO_3$ (αρ.) $\rightarrow$ $Al + HNO_3$ (αρ.) $\rightarrow$
$Ag + H_2SO_4$ (π.θ.) $\rightarrow$ $Zn + HNO_3$ (π.) $\rightarrow$
$C + H_2SO_4$ (π.θ.) $\rightarrow$ $S + H_2SO_4$ (π.θ.) $\rightarrow$
$S + HNO_3$ (αρ.) $\rightarrow$ $P + HNO_3$ (αρ.) $\rightarrow$
$I_2 + HNO_3$(π.) $\rightarrow$ $P + HNO_3$ (π.) $\rightarrow$

Γ. Να συμπληρωθούν οι πιο κάτω αντιδράσεις οξειδωτικών αλάτων:

$KMnO_4 + H_2SO_4 + NaCl \rightarrow$ $KMnO_4 + H_2SO_4 + H_2S \rightarrow$
$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + NaBr \rightarrow$ $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + H_2S \rightarrow$
$KMnO_4 + H_2SO_4 + SO_2 \rightarrow$ $KMnO_4 + H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow$

Δ. Πυκνό και θερμό H_2SO_4 αντιδρά με 30 g σκόνης άνθρακα. Να βρεθεί ο όγκος των αερίων που παράγονται σε Κ.Σ.

Ε. Ποσότητα κράματος Fe-Cu αντιδρά με αραιό HNO_3 οπότε παράγονται 6.72 L αερίου (NO) μετρημένα σε Κ.Σ. Ίση ποσότητα από το ίδιο κράμα κατεργάζεται με διάλυμα HCl οπότε εκλύονται 2.24 L αερίου (H_2) μετρημένα σε Κ.Σ. Να βρεθεί η % αναλογία των συστατικών του κράματος.

ΣΤ. Μια ποσότητα FeS αντιδρά με περίσσεια HCl και το δύσοσμο αέριο που εκλύεται διαβιβάζεται σε διάλυμα KMnO4 οξινισμένου με H2SO4 . Μετά το τέλος της αντίδρασης σχηματίζονται 16 g κίτρινης σκόνης (στοιχειακό θείο S). Να βρεθεί η αρχική ποσότητα του FeS.

4. Α. Ποιες αντιδράσεις γίνονται σε ένα βολταϊκό στοιχείο μολύβδου.
Β. Περιγράψτε τη αρχή στην οποία βασίζεται η εμφάνιση ασπρόμαυρης φωτογραφίας.