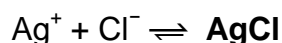


ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αντιδράσεις που γίνονται σε υδατικά διαλύματα μπορεί να περιλαμβάνουν μόρια ή ιόντα ή μόρια και ιόντα. Οι καθαρά μοριακές αντιδράσεις είναι πιο συνηθισμένες στην Οργανική Χημεία και είναι βραδείες, στο δε σημείο ισορροπίας τους σημαντικές ποσότητες των ουσιών που αντιδρούν δεν έχουν μετατραπεί σε προϊόντα. Οι καθαρά ιοντικές αντιδράσεις συναντώνται κυρίως στην Ανόργανη και την Αναλυτική Χημεία, είναι ταχύτερες και κατά κανόνα η ισορροπία αποκαθίσταται σ'αυτές μετά την πρακτικώς πλήρη μετατροπή των ουσιών που αντιδρούν σε προϊόντα. Οι αντιδράσεις που περιλαμβάνουν μόρια και ιόντα μοιάζουν με τις καθαρά ιοντικές αντιδράσεις και είναι πολύ συνηθισμένες.

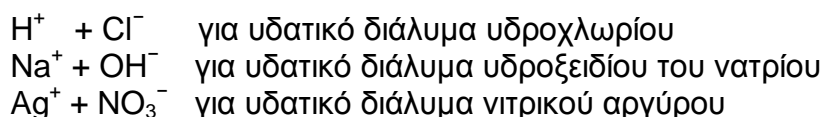
Οι χημικές αντιδράσεις συμβολίζονται με τις χημικές εξισώσεις, μοριακές ή ιοντικές. Οι χημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν ιόντα συμβολίζονται με ιοντικές εξισώσεις. Κατά το συμβολισμό μιας χημικής αντίδρασης με μία ιοντική εξίσωση, αναγράφονται μόνο τα σωματίδια εκείνα που αποτελούν τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντίδρασης. Όλα τα υπόλοιπα σωματίδια (ιόντα ή μόρια) παραλείπονται, γιατί δε συμμετέχουν στην αντίδραση. Π.χ., κατά την προσθήκη διαλύματος χλωριούχου ενώσεως (π.χ. HCl, NaCl) σε διάλυμα άλατος αργύρου (π.χ. AgNO₃, CH₃COOAg), το λευκό ίζημα που σχηματίζεται αποτελείται πάντοτε από χλωριούχο άργυρο. Επομένως, συμπεραίνεται, ότι στην αντίδραση λαμβάνουν μέρος μόνο τα ιόντα αργύρου και χλωρίου, γιαυτό και αυτή παριστάνεται με την ιοντική εξίσωση



2. ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Με αναγραφή των χημικών εξισώσεων σύμφωνα με ορισμένους συμβατικούς κανόνες επιτυγχάνεται η παροχή χρήσιμων πληροφοριών, που αφορούν τις ουσίες οι οποίες περιλαμβάνονται σε μία χημική αντίδραση. Για το σκοπό αυτό απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση ορισμένων ιδιοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων, καθώς και των συνθηκών της αντίδρασης. Οι κανόνες αυτοί συνοψίζονται ως εξής:

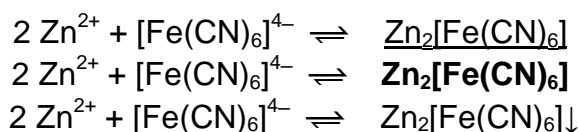
1. Με τη μορφή ιόντων αναγράφονται οι ευδιάλυτοι ισχυροί ηλεκτρολύτες επειδή κατά τη διάλυσή τους στο νερό ιοντίζονται ή δίστανται πλήρως, π.χ.



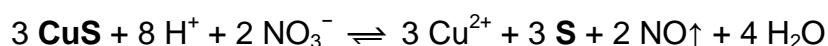
2. Με τη μορφή μορίων αναγράφονται:

α. Οι στερεές ουσίες, είτε υπάρχουν εξαρχής είτε σχηματίζονται ως ιζήματα κατά την

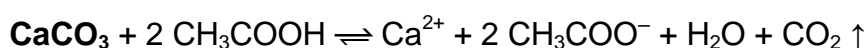
αντίδραση, π.χ. AgCl, Zn(OH)₂. Οι τύποι των στερεών ουσιών είτε υπογραμμίζονται είτε αναγράφονται με μαύρα (bold) στοιχεία είτε σημειώνεται ένα βέλος που κατευθύνεται προς τα κάτω δίπλα στο χημικό τύπο της ουσίας, ώστε οι αδιάλυτες ουσίες να διακρίνονται από τις ευδιάλυτες, π.χ.



β. Τα αέρια. Η έκλυση αερίου από διάλυμα υποδηλώνεται με βέλος, που κατευθύνεται προς τα πάνω και αναγράφεται δίπλα στο χημικό τύπο του αερίου, π.χ.



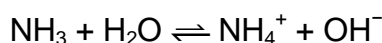
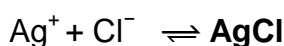
γ. Οι ευδιάλυτοι ασθενείς ηλεκτρολύτες, π.χ.



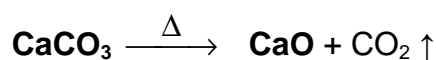
3. Ένα απλό βέλος → σε μία εξίσωση δηλώνει, ότι η αντίδραση προχωρεί εξ ολοκλήρου προς τη δεικνυόμενη κατεύθυνση.

4. Ένα διπλό βέλος ⇌ δηλώνει ότι η αντίδραση είναι *αμφίδρομη*.

Εάν το σημείο ισορροπίας της αμφίδρομης αντίδρασης είναι μετατοπισμένο προς μία κατεύθυνση, το βέλος που δείχνει αυτή την κατεύθυνση γράφεται μεγαλύτερο από το άλλο, π.χ.



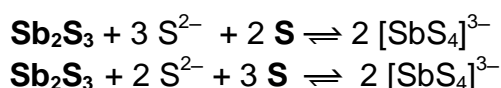
Ο καταλύτης, η θερμοκρασία ή η χρησιμοποίηση θερμότητας (που παριστάνεται με Δ) αναγράφονται πάνω ή κάτω από το βέλος, π.χ.



Για να είναι ορθή μία χημική εξίσωση, πρέπει να είναι:

- 1) σύμφωνη με τα πειραματικά δεδομένα,
 - 2) *ισοσταθμισμένη* από άποψη μάζας, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων κάθε στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της εξίσωσης και
 - 3) *ισοσταθμισμένη* από άποψη ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων να είναι επίσης ίδιο σε αμφότερα τα μέλη αυτής.
- Ο έλεγχος της ορθότητας μιας εξίσωσης από άποψη μάζας και φορτίων είναι απαραίτητος, γιατί μπορεί να υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί αριθμητικών συντελεστών που ισοσταθμίζουν τα άτομα σε δεδομένη ιοντική εξίσωση, απ'αυτούς όμως μόνον ο συνδυασμός που ισοσταθμίζει και τα φορτία είναι ορθός.

Π.χ. σε αμφότερες τις εξισώσεις



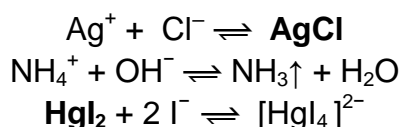
τα άτομα είναι ισοσταθμισμένα, μόνο όμως η πρώτη εξίσωση είναι ορθή, γιατί μόνο σε αυτή υπάρχει και ισοστάθμιση φορτίων. Η δεύτερη εξίσωση είναι λανθασμένη, γιατί υπάρχουν τέσσερα αρνητικά φορτία στο αριστερό μέλος αυτής και έξι στο δεξιό.

3. ΤΥΠΟΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ

Οι χημικές αντιδράσεις ταξινομούνται σε δύο γενικές κατηγορίες, τις *μεταθετικές αντιδράσεις*, στις οποίες δε γίνεται μεταβολή αριθμού οξειδωσης, και τις *οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις*, στις οποίες γίνεται μεταβολή αριθμού οξειδωσης. Στην ποιοτική ανάλυση συναντώνται συχνά και οι δύο τύποι των αντιδράσεων.

Μεταθετικές αντιδράσεις. Οι μεταθετικές αντιδράσεις γίνονται εξαιτίας της απομάκρυνσης ενός ή περισσότερων προϊόντων από τον κύκλο της αντίδρασης. Η απομάκρυνση γίνεται με σχηματισμό (α) ιζήματος, (β) αερίου, (γ) ελάχιστα ιοντιζόμενης διαλυτής ουσίας.

Π.χ.



Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Σε μία οξειδοαναγωγική αντίδραση, δηλαδή μία αντίδραση που περιλαμβάνει μεταφορά ηλεκτρονίων, ένα από τα αντιδρώντα σωματίδια οξειδώνεται (αποβάλλει ηλεκτρόνια), ενώ ταυτόχρονα κάποιο άλλο ανάγεται (προσλαμβάνει ηλεκτρόνια), δηλαδή, οξείδωση είναι η απώλεια ηλεκτρονίων, ενώ αναγωγή είναι η πρόσληψη ηλεκτρονίων. Δεν μπορεί να γίνει οξείδωση ενός σωματιδίου χωρίς να γίνει συγχρόνως αναγωγή κάποιου άλλου, ούτε το αντίστροφο, γιαυτό και μιλάμε για οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.

Για την ευκολότερη παρακολούθηση της μετακίνησης ηλεκτρονίων σε μία οξειδοαναγωγική αντίδραση χρησιμοποιείται ο όρος *αριθμός οξειδωσης* (κατάσταση οξειδωσης).

Ο αριθμός οξειδωσης αντιπροσωπεύει πραγματικά φορτία μόνο στην περίπτωση μονοατομικών ιόντων (ιόντων που περιέχουν μόνο ένα άτομο). Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις είναι το φορτίο που ένα άτομο «φαίνεται» να έχει όταν τα ηλεκτρόνια αριθμούνται σύμφωνα με δύο αυθαίρετους κανόνες:

α. Κοινά ηλεκτρόνια *ανόμοιων* ατόμων θεωρούνται ότι ανήκουν στο ηλεκτραρνητικότερο άτομο

β. Κοινά ηλεκτρόνια *όμοιων* ατόμων διαμοιράζονται εξ ίσου στα δύο άτομα.

Π.χ. στο μόριο του H_2 , επειδή το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων ανήκει εξ ίσου στα δύο άτομα υδρογόνου, το φαινομενικό φορτίο καθενός ατόμου και συνεπώς και ο αριθμός οξειδωσής του είναι 0. Στο μόριο του H_2O , το οξυγόνο είναι το ηλεκτραρνητικότερο άτομο, γιαυτό και τα κοινά ηλεκτρόνια θεωρούνται ότι ανήκουν μόνο στο οξυγόνο. Επομένως, το φαινομενικό φορτίο και συνεπώς και ο αριθμός οξειδωσής του υδρογόνου είναι +1, γιατί το άτομό του θεωρείται ότι έχει μόνο ένα πρωτόνιο, ενώ του οξυγόνου είναι -2, γιατί ο αριθμός των ηλεκτρονίων του φαινομενικά είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των πρωτονίων κατά δύο. Με όμοιο τρόπο, από τους ηλεκτρονιακούς τύπους των διαφόρων μορίων και ιόντων μπορεί να υπολογισθεί το φαινομενικό φορτίο καθενός ατόμου και επομένως και ο αριθμός οξειδωσής του. Η αναγραφή όμως ηλεκτρονιακών τύπων και η αρίθμηση των ηλεκτρονίων είναι επίτηρη, γιαυτό και ο αριθμός οξειδωσής βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια των παρακάτω κανόνων που προέρχονται από τους παραπάνω δύο γενικούς κανόνες:

1. Στα ελεύθερα στοιχεία, κάθε άτομο έχει αριθμό οξειδωσής 0, ανεξάρτητα από το πολύπλοκο του μορίου. Π.χ. το χλώριο στο Cl_2 , ο φωσφόρος στο P_4 και το θείο στο S_8 έχουν αριθμούς οξειδωσής ίσους με μηδέν.

2. Στα μονοατομικά ιόντα, ο αριθμός οξειδωσής του ατόμου είναι ίσος με το φορτίο του ιόντος. Π.χ. ο αριθμός οξειδωσής του σιδήρου στα ιόντα Fe^{2+} και Fe^{3+} είναι +2 και +3, αντίστοιχα.

3. Στις ενώσεις οξυγόνου, κατά κανόνα, ο αριθμός οξειδωσής του οξυγόνου είναι -2. Εξαιρέσεις: τα υπεροξειδία, όπου ο αριθμός οξειδωσής του οξυγόνου είναι -1 και το OF_2 , όπου ο αριθμός οξειδωσής του οξυγόνου είναι +2.

4. Στις ενώσεις υδρογόνου, κατά κανόνα, ο αριθμός οξειδωσής του υδρογόνου είναι +1.

Εξαιρέσεις: Ορισμένα υδρίδια, π.χ. των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών, όπως NaH , CaH_2 , όπου το άτομο υδρογόνου είναι ενωμένο με λιγότερο ηλεκτραρνητικό άτομο, οπότε ο αριθμός οξειδωσής του υδρογόνου είναι -1.

5. Το αλγεβρικό άθροισμα των αριθμών οξειδωσής των ατόμων ουδέτερου μορίου είναι μηδέν, ενώ πολυατομικού ιόντος ισούται με το φορτίο του ιόντος.

Παραδείγματα εύρεσης του αριθμού οξειδωσής σε ανόργανες ενώσεις και ιόντα:

1. Να βρεθεί ο αριθμός οξειδωσής (Α.Ο.) του θείου στο H_2SO_4 .

Έστω ότι ο Α.Ο. του S είναι ίσος με x. Με βάση τον 5^ο κανόνα καταστρώνουμε μία εξίσωση, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο Α.Ο. του H είναι +1 (4^{ος} κανόνας) και του οξυγόνου -2 (3^{ος} κανόνας).

Δηλαδή,

S : x , H : +1 , O : -2

Οπότε προκύπτει η εξίσωση:

$x + 2(+1) + 4(-2) = 0$, άρα $x = +6$, δηλαδή ο αριθμός οξειδωσης του θείου είναι +6

2. Να βρεθεί ο αριθμός οξειδωσης του χρωμίου στο διχρωμικό ιόν, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

Ακολουθώντας τον ίδιο τρόπο, έχουμε

Cr : x , O : -2

$2x + 7(-2) = -2$, άρα $x = +6$, δηλαδή ο αριθμός οξειδωσης του χρωμίου είναι +6

Γενικά, ο αριθμός οξειδωσης ενός ατόμου είναι θετικός, όταν το άτομο είναι ενωμένο με ηλεκτραρνητικότερο άτομο, αρνητικός, όταν είναι ενωμένο με λιγότερο ηλεκτραρνητικό άτομο και μηδέν, όταν είναι ενωμένο με όμοιο άτομο.

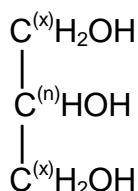
Στην περίπτωση του άνθρακα, ο C είναι αρνητικός σε σχέση με το H (δηλαδή -1) και θετικός σε σχέση με το O (+1 ή +2) και το N (+3 ή +2 ή +1). Οι σχετικές ηλεκτραρνητικότητες είναι $\text{H} < \text{C} < \text{N} < \text{O}$.

Όταν ένα άτομο είναι ενωμένο με δύο ή περισσότερα άτομα διαφορετικής ηλεκτραρνητικότητας, ο αριθμός οξειδωσής του εκτιμάται από το αλγεβρικό άθροισμα των αριθμών οξειδωσης, δηλαδή, βρίσκεται ο αριθμός οξειδωσης του ατόμου ως προς κάθε άτομο με το οποίο είναι ενωμένο και στη συνέχεια υπολογίζεται το αλγεβρικό άθροισμα αυτών των αριθμών.

Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται συνήθως για την εύρεση των αριθμών οξειδωσης των ατόμων άνθρακα σε οργανικές ενώσεις.

Παραδείγματα εύρεσης αριθμού οξειδωσης ατόμου άνθρακα σε οργανικές ενώσεις:

1. Να βρεθεί ο αριθμός οξειδωσης καθενός ατόμου άνθρακα στη γλυκερίνη ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$).



Ο αριθμός οξειδωσης n του μεσαίου ατόμου άνθρακα είναι -1 ως προς το H γιατί το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων θεωρείται ότι ανήκει στον άνθρακα που είναι πιο ηλεκτραρνητικός και επομένως θεωρείται ότι το άτομο άνθρακα έχει κερδίσει 1

ηλεκτρόνιο, άρα έχει φαινομενικό φορτίο -1, +1 ως προς το οξυγόνο της ομάδας -OH ή ως προς την ομάδα -OH γιατί το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων μεταξύ άνθρακα και οξυγόνου θεωρείται ότι ανήκει στο οξυγόνο που είναι πιο ηλεκτραρνητικό από τον άνθρακα οπότε το άτομο άνθρακα θεωρείται ότι έχει χάσει ένα ηλεκτρόνιο, άρα φαινομενικό φορτίο +1 ή, με διαφορετικά λόγια, η ομάδα -OH έχει φορτίο -1 (-2 το οξυγόνο και +1 το υδρογόνο, άρα αλγεβρικό άθροισμα -1), άρα ο άνθρακας έχει +1 ως προς την ομάδα -OH, και μηδέν ως προς κάθε άτομο άνθρακα με το οποίο είναι ενωμένο.

Επομένως, ο αριθμός οξείδωσης n του μεσαίου ατόμου άνθρακα δίδεται από την εξίσωση

$$n = (-1) + (+1) + 2(0) = 0, \text{ δηλαδή είναι μηδέν,}$$

και ο αριθμός οξείδωσης καθενός από τα άλλα δύο άτομα άνθρακα δίδεται από την εξίσωση

$$x = 2(-1) + (+1) + (0) = -1, \text{ δηλαδή είναι } -1$$

2. Να βρεθεί ο αριθμός οξείδωσης καθενός ατόμου άνθρακα στο οξικό οξύ (CH_3COOH).

Ο αριθμός οξείδωσης n του ατόμου άνθρακα της μεθυλικής ομάδας ισούται με

$$n = 3(-1) + (0) = -3$$

και ο αριθμός οξείδωσης x του ατόμου άνθρακα της καρβοξυλικής ομάδας ισούται με

$$x = (0) + (+2) + (+1) = +3$$

(Το άτομο άνθρακα έχει αριθμό οξείδωσης +2 ως προς το οξυγόνο το ενωμένο με διπλό δεσμό γιατί τα δύο κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων θεωρούνται ότι ανήκουν στο άτομο του οξυγόνου, επομένως το άτομο άνθρακα θεωρείται ότι έχει χάσει 2 ηλεκτρόνια, άρα φαινομενικό φορτίο +2).

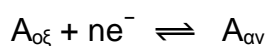
Εξ ορισμού, οξειδωτικό μέσο (ή απλώς οξειδωτικό) είναι η ουσία που προκαλεί οξείδωση σε μια άλλη ουσία. Το οξειδωτικό μέσο προσλαμβάνει ηλεκτρόνια από την άλλη ουσία, οπότε το ίδιο ανάγεται (ελαττώνεται ο αριθμός οξείδωσής του ή ο αριθμός οξείδωσης κάποιου από τα στοιχεία που περιέχει), ενώ αναγωγικό μέσο (ή απλώς αναγωγικό) είναι η ουσία που προκαλεί αναγωγή σε μια άλλη ουσία. Το αναγωγικό μέσο δίνει ηλεκτρόνια στην άλλη ουσία, οπότε το ίδιο οξειδώνεται (αυξάνεται ο αριθμός οξείδωσής του ή ο αριθμός οξείδωσης κάποιου από τα στοιχεία που περιέχει).

Η οξείδωση και η αναγωγή γίνονται ταυτόχρονα και ο συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων που αποβάλλει το αναγωγικό είναι ίσος με το συνολικό αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει το οξειδωτικό.

Εφόσον σε μία οξειδοαναγωγική αντίδραση ένα από τα αντιδρώντα σωματίδια

οξειδώνεται ενώ συγχρόνως ένα άλλο ανάγεται, η οξειδοαναγωγική αντίδραση μπορεί να χωρισθεί σε δύο ημιαντιδράσεις, μία ημιαντίδραση αναγωγής και μία ημιαντίδραση οξειδωσης. Οι ημιαντιδράσεις αυτές είναι οι αντιδράσεις που γίνονται στα ηλεκτρόδια γαλβανικού στοιχείου το οποίο χρησιμοποιεί την οξειδοαναγωγική αντίδραση ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εξίσωση μιας ημιαντιδράσης αναγωγής μπορεί να γραφεί με τη γενική μορφή

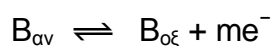


Το οξειδωτικό A_{ox} και η ανηγμένη του μορφή A_{av} είναι δύο καταστάσεις οξειδώσεως του ίδιου στοιχείου και αποτελούν ένα συζυγές οξειδοαναγωγικό ζεύγος.

Π.χ. $Cr_2O_7^{2-} / Cr^{3+}$, MnO_4^- / Mn^{2+}

Όσο ισχυρότερο είναι το οξειδωτικό A_{ox} , δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τάση του για πρόσληψη ηλεκτρονίων, τόσο περισσότερο η παραπάνω ισορροπία είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά, δηλαδή προς όφελος της ανηγμένης μορφής A_{av} .

Μία ημιαντίδραση οξειδωσης μπορεί να συμβολισθεί με την εξίσωση της γενικής μορφής



Όμοια, το αναγωγικό B_{av} και η οξειδωμένη του μορφή B_{ox} είναι δύο καταστάσεις οξειδώσεως του ίδιου στοιχείου και αποτελούν ένα συζυγές οξειδοαναγωγικό ζεύγος.

Π.χ. $Cr^{3+} / Cr_2O_7^{2-}$, Sn^{2+} / Sn^{4+}

Παρόμοια, όσο ισχυρότερο είναι το αναγωγικό B_{av} , δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τάση του για αποβολή ηλεκτρονίων, τόσο περισσότερο η παραπάνω ισορροπία είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά, δηλαδή προς όφελος της οξειδωμένης μορφής B_{ox} .

Προφανώς, αν οι δύο εξισώσεις προστεθούν κατά μέλη, αφού πολλαπλασιασθούν με κατάλληλους αριθμούς ώστε ο αριθμός ηλεκτρονίων να είναι ίδιος και στις δύο, προκύπτει η εξίσωση μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης.

Η θέση ισορροπίας μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης είναι μετατοπισμένη προς την κατεύθυνση κατά την οποία σχηματίζεται το ασθενέστερο οξειδωτικό και το ασθενέστερο αναγωγικό.

Η ισχύς των οξειδωτικών και αναγωγικών μέσων εκφράζεται ποσοτικά με τα κανονικά δυναμικά αναγωγής, E° . Όσο μεγαλύτερη αλγεβρικά είναι η τιμή του κανονικού δυναμικού αναγωγής ενός οξειδοαναγωγικού ζεύγους, τόσο ισχυρότερο οξειδωτικό είναι η οξειδωμένη μορφή του ζεύγους και κατά συνέπεια τόσο ασθενέστερο αναγωγικό είναι η ανηγμένη μορφή του ζεύγους.

Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι όροι που χρησιμοποιούνται στην οξειδοαναγωγή.

Πίνακας 1. Χρησιμοποιούμενοι όροι στην οξειδοαναγωγή

Όρος	Μεταβολή ηλεκτρονίων	Μεταβολή αριθμού οξείδωσης
οξείδωση	απώλεια ηλεκτρονίων	Αύξηση
αναγωγή	πρόσληψη ηλεκτρονίων	Ελάττωση
οξειδωτικό μέσον	προσλαμβάνει ηλεκτρόνια	Ελάττωση
αναγωγικό μέσον	αποβάλλει ηλεκτρόνια	Αύξηση

4. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΙΚΑ ΜΕΣΑ

Τα κυριότερα οξειδωτικά μέσα είναι τα μεταλλοϊόντα σε υψηλές καταστάσεις οξείδωσης, τα ελεύθερα αμέταλλα και μόρια ή ιόντα, τα οποία περιέχουν στοιχείο που βρίσκεται σε υψηλή κατάσταση οξείδωσης, ενωμένο με οξυγόνο, ενώ τα κυριότερα αναγωγικά μέσα είναι τα μεταλλοϊόντα σε χαμηλές καταστάσεις οξείδωσης, τα μέταλλα, τα ανιόντα των αμετάλλων, καθώς και μόρια ή ιόντα, τα οποία περιέχουν στοιχείο που βρίσκεται σε χαμηλή κατάσταση οξείδωσης, ενωμένο με οξυγόνο. Στους Πίνακες 2 και 3 αναγράφονται τα πιο συνηθισμένα οξειδωτικά και αναγωγικά μέσα, αντίστοιχα.

Πίνακας 2. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ Α.Ο.
MnO_4^-	Ισχυρά όξινο δ/μα	Mn^{2+}	+7 σε +2
MnO_4^-	Ισχυρά βασικό	MnO_4^{2-}	+7 σε +6
MnO_4^-	Ασθενώς όξινο, ουδέτερο, ασθενώς βασικό	MnO_2	+7 σε +4
$Cr_2O_7^{2-}$	Όξινο δ/μα	Cr^{3+}	+6 σε +3
NO_3^-	Πυκνό HNO_3 (16 M)	NO_2	+5 σε +4
NO_3^-	Αραιό HNO_3 (4 M)	NO	+5 σε +2
IO_4^-	Όξινο δ/μα	IO_3^-	+7 σε +5
Cl_2	»	Cl^-	0 σε -1
Br_2	»	Br^-	0 σε -1
I_2	»	I^-	0 σε -1
Ce^{4+}	»	Ce^{3+}	+4 σε +3
HNO_2	»	NO	+3 σε +2
H_2O_2	»	H_2O	-1 σε -2
H_2O_2	Βασικό δ/μα	OH^-	-1 σε -2

Πίνακας 3. ΑΝΑΓΩΓΙΚΑ ΜΕΣΑ

ΑΝΑΓΩΓΙΚΟ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΟΞΕΙΔΩΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ Α.Ο.
Al	Όξινο δ/μα	Al ³⁺	0 σε +3
Zn	»	Zn ²⁺	0 σε +2
H ₂ S	»	S	-2 σε 0
Sn ²⁺	»	Sn ⁴⁺	+2 σε +4
Fe ²⁺	»	Fe ³⁺	+2 σε +3
C ₂ O ₄ ²⁻	»	CO ₂	+3 σε +4
I ⁻	»	I ₂	-1 σε 0
H ₂ SO ₃	»	SO ₄ ²⁻	+4 σε +6
H ₂ O ₂	»	O ₂	-1 σε 0

5. ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ

Τα θεμελιώδη δεδομένα, στα οποία βασίζονται όλες οι μέθοδοι ισοστάθμισης των χημικών εξισώσεων με τις οποίες συμβολίζονται οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, είναι ότι η οξείδωση και η αναγωγή γίνονται ταυτόχρονα και ότι το οξειδωτικό αντιδρά με το αναγωγικό σε ισοδύναμες ποσότητες (δηλαδή ο συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων που αποβάλλει το αναγωγικό είναι ίσος με το συνολικό αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει το οξειδωτικό).

Η *ισοστάθμιση*, δηλαδή η εύρεση των συντελεστών των χημικών εξισώσεων, γίνεται με τη *μέθοδο του αριθμού οξείδωσης* ή με τη *μέθοδο των ημιαντιδράσεων*. Αμφότερες οι μέθοδοι προϋποθέτουν ότι είναι γνωστά τα προϊόντα της αντίδρασης.

Μέθοδος του αριθμού οξείδωσης. Στη μέθοδο αυτή, τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντίδρασης αναγράφονται σε μία εξίσωση, η οποία στη συνέχεια ισοσταθμίζεται από την άποψη μάζας και ηλεκτρικών φορτίων. Είναι η μόνη μέθοδος για την ισοστάθμιση των εξισώσεων των μοριακών αντιδράσεων, χρησιμοποιείται όμως εξίσου καλά για τις ιοντικές αντιδράσεις και περιλαμβάνει τα ακόλουθα έξι στάδια:

1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα.
2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξείδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξείδωσης.
3. Αναγνωρίζουμε το οξειδωτικό και το αναγωγικό και καθορίζουμε τον αριθμό ηλεκτρονίων (έστω x) που προσλαμβάνει ένα μόριο ή ένα ιόν του οξειδωτικού και τον αριθμό ηλεκτρονίων (έστω ψ) που αποβάλλει ένα μόριο ή ένα ιόν του αναγωγικού.
4. Θέτουμε ως συντελεστή του οξειδωτικού τον αριθμό ηλεκτρονίων που

αποβάλλει το ένα μόριο ή το ένα ιόν του αναγωγικού (δηλαδή το ψ) και ως συντελεστή του αναγωγικού τον αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει το ένα μόριο ή το ένα ιόν του οξειδωτικού (δηλαδή το x). (Αν οι αριθμοί x και ψ έχουν κοινούς διαιρέτες, διαιρούνται με το μέγιστο κοινό διαιρέτη για να βρεθούν μικρότεροι συντελεστές.)

5. Ισοσταθμίζουμε την εξίσωση από άποψη μάζας (Ι.Μ.) και ηλεκτρικών φορτίων (Ι.Φ.). Χρησιμοποιούμε H^+ και H_2O , αν το διάλυμα είναι όξινο, OH^- και H_2O , αν το διάλυμα είναι αλκαλικό, εφόσον χρειάζεται. Κατά την ισοστάθμιση αυτή, ο λόγος x/ψ πρέπει να παραμείνει αναλλοίωτος.

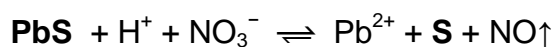
6. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της εξίσωσης. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

Παραδείγματα

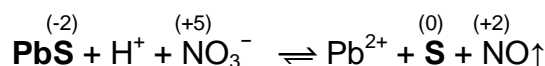
1. Να γραφεί η εξίσωση της αντίδρασης θειούχου μολύβδου με αραιό νιτρικό οξύ (4 M)

Λύση.

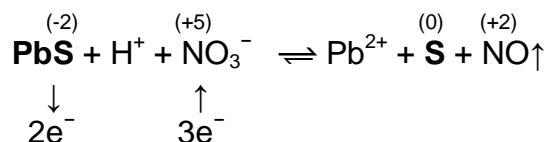
1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα.



2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξειδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξειδωσης.



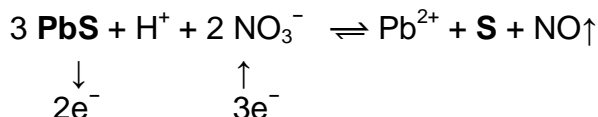
3. Αναγνωρίζουμε το οξειδωτικό (NO_3^-) και το αναγωγικό (PbS) και καθορίζουμε τον αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει ένα ιόν του οξειδωτικού (έστω x) και τον αριθμό ηλεκτρονίων (έστω ψ) που αποβάλλει ένα μόριο του αναγωγικού. Κάθε ιόν NO_3^- προσλαμβάνει $3e^-$ ($x=3$), οπότε ο αριθμός οξειδωσης του αζώτου ελαττώνεται από +5 σε +2, ενώ κάθε μόριο PbS παρέχει $2e^-$ ($\psi=2$), οπότε ο αριθμός οξειδωσης του θείου αυξάνεται από -2 σε 0.



4. Θέτουμε ως συντελεστή του οξειδωτικού (του NO_3^-) τον αριθμό ηλεκτρονίων που

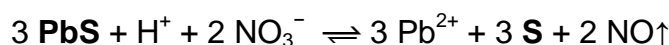
αποβάλλει το ένα μόριο του αναγωγικού (του PbS) (δηλαδή το ψ) και ως συντελεστή του αναγωγικού τον αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει το ένα ιόν του οξειδωτικού (δηλαδή το χ)

Επομένως ο συντελεστής του NO_3^- είναι 2, ενώ του PbS είναι 3



5. Ισοσταθμίζουμε την εξίσωση από άποψη μάζας (I.M.) και ηλεκτρικών φορτίων (I.Φ.). Χρησιμοποιούμε H^+ και H_2O , αν το διάλυμα είναι όξινο, OH^- και H_2O , αν το διάλυμα είναι αλκαλικό, εφόσον χρειάζεται. Κατά την ισοστάθμιση αυτή ο λόγος χ/ψ πρέπει να παραμείνει αναλλοίωτος

(α) Ισοσταθμίζουμε όλα τα άτομα εκτός από τα O και τα H

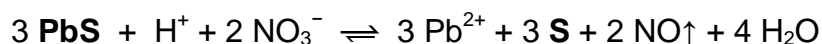


(β) Ισοστάθμιση ατόμων O και H.

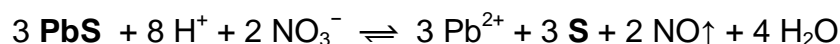
Εφόσον η αντίδραση γίνεται σε όξινο διάλυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο τρόποι (εξίσου εύκολοι) για την ισοστάθμιση των ατόμων O και H:

5 (β) Πρώτος τρόπος:

(i) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα O προσθέτοντας μόρια H_2O στο μέλος της εξίσωσης όπου υπάρχει έλλειμμα ατόμων O (τόσα μόρια H_2O όσα είναι τα O που λείπουν)



(ii) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα H προσθέτοντας H^+ (τόσα όσα είναι τα άτομα H που λείπουν)

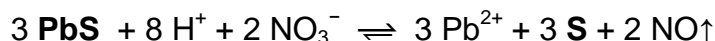


Με αυτό τον τρόπο γίνεται συγχρόνως και ισοστάθμιση της εξίσωσης από άποψη ηλεκτρικών φορτίων.

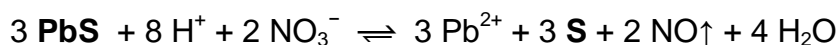
6. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της εξίσωσης. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

5 (β) Δεύτερος τρόπος:

(i) Ισοσταθμίζουμε την εξίσωση από άποψη φορτίων προσθέτοντας H^+ (στο αρνητικότερο μέλος) ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των ηλεκτρικών φορτίων να είναι το ίδιο και στα 2 μέλη της εξίσωσης



(ii) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα O και H προσθέτοντας μόρια H₂O



6. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της εξίσωσης. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

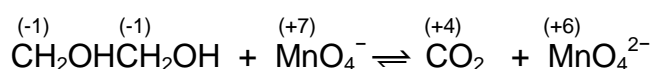
2. Να γραφεί η εξίσωση της οξειδωσης της αιθυλενογλυκόλης σε CO₂ από τα υπερμαγγανικά ιόντα σε ισχυρά βασικό διάλυμα.

Λύση.

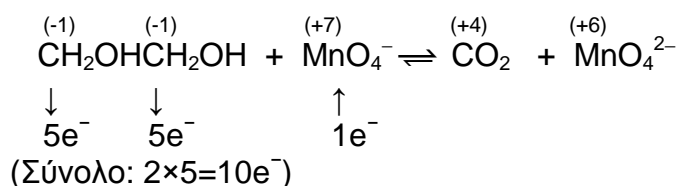
1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα



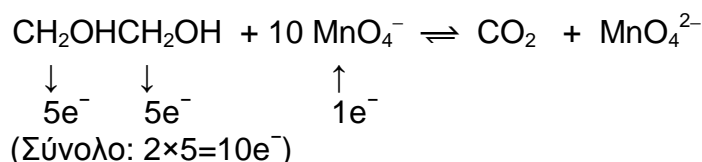
2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξειδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξειδωσης.



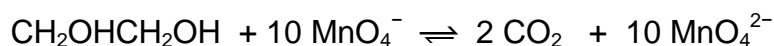
3. Κάθε MnO₄⁻ ιόν (οξειδωτικό) προσλαμβάνει 1 e⁻, οπότε ο αριθμός οξειδωσης του Mn ελαττώνεται από +7 σε +6, ενώ κάθε μόριο αιθυλενογλυκόλης (αναγωγικό) αποβάλλει 2 x 5 = 10 e⁻ (κάθε ένα άτομο άνθρακα αποβάλλει 5 e⁻ οπότε ο αριθμός οξειδωσής του αυξάνεται από -1 σε +4)



4. Ο συντελεστής του MnO₄⁻ είναι 10, ενώ της CH₂OHCH₂OH είναι 1.

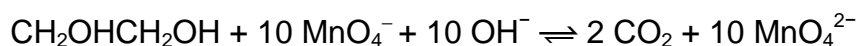


5. (α) Ισοσταθμίζουμε όλα τα άτομα εκτός από τα άτομα O και H



5. (β)

(i) Ισοσταθμίζουμε την εξίσωση από άποψη φορτίων προσθέτοντας OH^- ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των ηλεκτρικών φορτίων να είναι το ίδιο και στα 2 μέλη της εξίσωσης



(ii) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα O και H προσθέτοντας μόρια H_2O



6. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη της εξίσωσης. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

Μέθοδος των ημιαντιδράσεων. Στη μέθοδο αυτή, η οξειδοαναγωγική αντίδραση χωρίζεται σε δύο ημιαντιδράσεις, μία ημιαντίδραση αναγωγής και μία ημιαντίδραση οξειδωσης και για καθεμιά από αυτές γράφεται μία εξίσωση.

Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι ο ολικός αριθμός των ηλεκτρονίων που παρέχονται από το αναγωγικό ισούται με τον ολικό αριθμό των ηλεκτρονίων που προσλαμβάνονται από το οξειδωτικό.

Χρησιμοποιείται κυρίως για την ισοστάθμιση των εξισώσεων ιοντικών αντιδράσεων και περιλαμβάνει τα ακόλουθα εννέα στάδια:

1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα.

2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξειδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξειδωσης και αναγνωρίζουμε τα δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη, καθώς και το οξειδωτικό και το αναγωγικό.

3. Χωρίζουμε την οξειδοαναγωγική αντίδραση σε δύο ημιαντιδράσεις, μία ημιαντίδραση αναγωγής και μία ημιαντίδραση οξειδωσης, και γράφουμε τις ελλιπείς εξισώσεις τους.

4. Ισοσταθμίζουμε καθεμιά από αυτές από άποψη μάζας, ισοσταθμίζοντας τελευταία τα άτομα οξυγόνου και υδρογόνου. Χρησιμοποιούμε H^+ και H_2O , αν το διάλυμα είναι όξινο, OH^- και H_2O , αν το διάλυμα είναι αλκαλικό, εφόσον χρειάζεται.

5. Ισοσταθμίζουμε καθεμιά από τις δύο εξισώσεις από άποψη ηλεκτρικών φορτίων, με προσθήκη ηλεκτρονίων, ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων να είναι ίδιο και στα δύο μέλη της.

6. Ελέγχουμε κάθε μία από τις εξισώσεις για να βεβαιωθούμε ότι είναι ισοσταθμισμένες από άποψη μάζας και φορτίων. Παρατηρούμε ότι στην εξίσωση της ημιαντίδρασης αναγωγής, τα ηλεκτρόνια είναι στο αριστερό μέλος της εξίσωσης, ενώ στην εξίσωση της ημιαντίδρασης οξειδωσης τα ηλεκτρόνια είναι στο δεξιό μέλος.

7. Πολλαπλασιάζουμε την ισοσταθμισμένη εξίσωση της ημιαντίδρασης αναγωγής επί τον αριθμό των ηλεκτρονίων της ημιαντίδρασης οξειδωσης, και την ισοσταθμισμένη εξίσωση της ημιαντίδρασης οξειδωσης επί τον αριθμό των ηλεκτρονίων της ημιαντίδρασης αναγωγής (όταν υπάρχει κοινός διαιρέτης μεταξύ των δύο αριθμών, αυτοί διαιρούνται προηγουμένως με αυτόν).

8. Αθροίζουμε τις δύο εξισώσεις που προέκυψαν και κάνουμε αναγωγή ομοίων όρων.

9. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

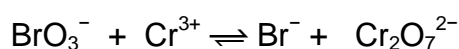
Πρέπει να σημειωθεί ότι στην εξίσωση μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης δεν γράφονται ηλεκτρόνια γιατί ο ολικός αριθμός ηλεκτρονίων που παρέχει το αναγωγικό ισούται με τον ολικό αριθμό ηλεκτρονίων που προσλαμβάνει το οξειδωτικό.

Παραδείγματα

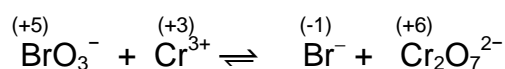
1. Να γραφεί η εξίσωση της αντίδρασης μεταξύ ιόντων BrO_3^- και ιόντων Cr^{3+} σε όξινο διάλυμα.

Λύση.

1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα



2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξειδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξειδωσης και αναγνωρίζουμε τα δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη, καθώς και το οξειδωτικό και το αναγωγικό



Τα δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη είναι: $(\text{BrO}_3^-, \text{Br}^-)$ και $(\text{Cr}^{3+}, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$

BrO_3^- :

- Οξειδωτικό
- προσλαμβάνει ηλεκτρόνια
- ελαττώνεται ο αριθμός οξειδωσης του βρωμίου

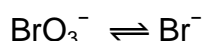
- ανάγεται

Cr^{3+} :

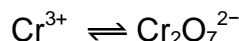
- Αναγωγικό
- αποβάλλει ηλεκτρόνια
- αυξάνεται ο αριθμός οξειδωσης του χρωμίου
- οξειδώνεται

3. Χωρίζουμε την οξειδοαναγωγική αντίδραση σε δύο ημιαντιδράσεις, μία ημιαντίδραση αναγωγής και μία οξειδωσης, και γράφουμε τις ελλειπείς εξισώσεις τους.

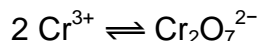
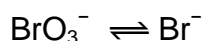
Ημιαντίδραση αναγωγής



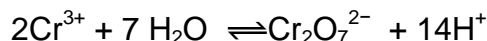
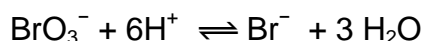
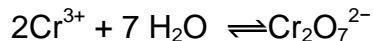
Ημιαντίδραση οξειδωσης



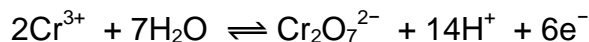
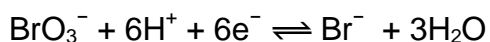
4. (α) Ισοσταθμίζουμε όλα τα άτομα εκτός O, H



(β) Ισοσταθμίζουμε τα O, H



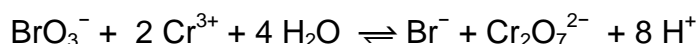
5. Ισοσταθμίζουμε καθεμία από τις δύο εξισώσεις από άποψη ηλεκτρικών φορτίων, με προσθήκη ηλεκτρονίων.



6. Ελέγχουμε κάθε μία από τις εξισώσεις για να βεβαιωθούμε ότι είναι ισοσταθμισμένες από άποψη μάζας και φορτίων.

7. Οι δύο εξισώσεις περιέχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων οπότε προχωρούμε στο επόμενο στάδιο.

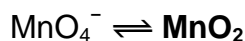
8. Αθροίζουμε κατά μέλη τις δύο εξισώσεις που προέκυψαν και κάνουμε αναγωγή ομοίων όρων.



9. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση. Ο αριθμός των ατόμων καθενός στοιχείου πρέπει να είναι ίδιος και στα δύο μέλη. Ομοίως, το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων πρέπει να είναι ίδιο και στα δύο μέλη.

2. Παράδειγμα ισοστάθμισης εξίσωσης ημιαντίδρασης σε βασικό διάλυμα

Να ισοσταθμισθεί η εξίσωση της ημιαντίδρασης αναγωγής των υπερμαγγανικών ιόντων σε ασθενώς βασικό διάλυμα

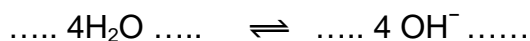


Γενικά, όταν η αντίδραση γίνεται σε βασικό διάλυμα, μετά την ισοστάθμιση όλων των ατόμων εκτός των ατόμων Ο και Η, για να ισοσταθμισθούν τα άτομα οξυγόνου και υδρογόνου προσθέτουμε μόρια H_2O και ιόντα OH^- , ακολουθώντας τον εξής τρόπο:

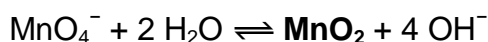
(α) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα Ο προσθέτοντας, στο μέλος της εξίσωσης όπου υπάρχει έλλειμμα ατόμων Ο, τόσα μόρια H_2O όσα είναι τα άτομα Ο που λείπουν.



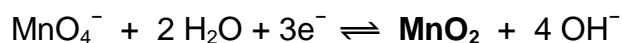
(β) Ισοσταθμίζουμε τα άτομα Η προσθέτοντας, στο μέλος της εξίσωσης όπου υπάρχει έλλειμμα ατόμων Η, τόσα μόρια H_2O όσα είναι τα άτομα Η που λείπουν, και στο άλλο μέλος της εξίσωσης ίδιο αριθμό ιόντων OH^-



(γ) Κάνουμε αναγωγή ομοίων όρων



Στη συνέχεια ισοσταθμίζουμε την εξίσωση από άποψη φορτίων προσθέτοντας ηλεκτρόνια στο λιγότερο αρνητικό μέλος της εξίσωσης.



Παράδειγμα 3. Να γραφεί η εξίσωση της αναγωγής των νιτρικών ιόντων σε αμμωνία με αργίλιο σε βασικό διάλυμα.

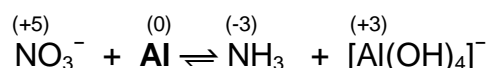
Λύση.

1. Γράφουμε την ελλιπή εξίσωση της αντίδρασης που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα και τα προϊόντα



2. Σημειώνουμε τους αριθμούς οξείδωσης των ατόμων των οποίων μεταβάλλεται ο αριθμός οξείδωσης και αναγνωρίζουμε τα δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη, καθώς και το

οξειδωτικό και το αναγωγικό



Τα δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη είναι: (NO_3^- , NH_3) και (Al , $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$)

NO_3^- :

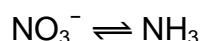
- Οξειδωτικό
- προσλαμβάνει ηλεκτρόνια
- ελαττώνεται ο αριθμός οξείδωσης του αζώτου,
- ανάγεται

Al :

- Αναγωγικό
- αποβάλλει ηλεκτρόνια
- αυξάνεται ο αριθμός οξείδωσης του αργιλίου
- οξειδώνεται

3. Χωρίζουμε την οξειδοαναγωγική αντίδραση σε δύο ημιαντιδράσεις, μία ημιαντίδραση αναγωγής και μία οξείδωσης, και γράφουμε τις ελλειπείς εξισώσεις τους.

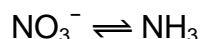
Ημιαντίδραση αναγωγής



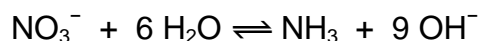
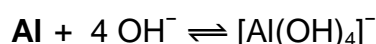
Ημιαντίδραση οξείδωσης



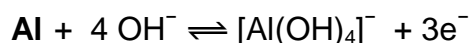
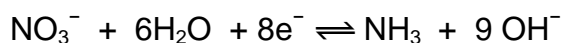
4. (α) Ισοσταθμίζουμε όλα τα άτομα εκτός O, H



(β) Ισοσταθμίζουμε τα O, H

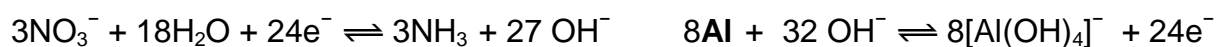


5. Ισοσταθμίζουμε καθεμία από τις δύο εξισώσεις από άποψη ηλεκτρικών φορτίων, με προσθήκη ηλεκτρονίων.



6. Ελέγχουμε κάθε μία από τις εξισώσεις για να βεβαιωθούμε ότι είναι ισοσταθμισμένες από άποψη μάζας και φορτίων.

7. Πολλαπλασιάζουμε την ισοσταθμισμένη εξίσωση της ημιαντίδρασης αναγωγής επί 3 και την ισοσταθμισμένη εξίσωση της ημιαντίδρασης οξειδωσης επί 8.



8. Αθροίζουμε τις δύο εξισώσεις που προέκυψαν και κάνουμε αναγωγή ομοίων όρων.



9. Ελέγχουμε την τελική εξίσωση.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ποιοι κανόνες πρέπει να ακολουθούνται κατά την αναγραφή των χημικών εξισώσεων; Επεξηγήστε με παραδείγματα.

2. Πώς βρίσκεται ο αριθμός οξειδωσης; Αναφέρετε τους σχετικούς κανόνες και δώστε σχετικά παραδείγματα.

3. Να αποδοθούν με ορισμούς και παραδείγματα οι εξής έννοιες: Οξειδωτικό μέσο, αναγωγικό μέσο, οξείδωση, αναγωγή, αριθμός οξειδωσης, ισοστάθμιση χημικής εξίσωσης, οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, μεταθετικές αντιδράσεις.

4. Να συμπληρωθούν και ισοσταθμισθούν οι παρακάτω εξισώσεις:

