

Χημεία

γ' λυκείου

**Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών**

Τόμος 1ος

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Το παρόν βιβλίο περιέχει τα παρακάτω κεφάλαια:

- α) Από το βιβλίο «Χημεία θετικής Κατεύθυνσης» Β΄ Λυκείου των Λιοδάκη Σ., Γάκη Δ., Θεοδωρόπουλου Δ., Θεοδωρόπουλου Π. και Κάλλη Α. (έκδοση 2012) τα κεφάλαια 2, 3, 4, 5.
- β) Από το βιβλίο «Χημεία θετικής Κατεύθυνσης» Γ΄ Λυκείου των Λιοδάκη Σ., Γάκη Δ., Θεοδωρόπουλου Δ. και Θεοδωρόπουλου Π. (έκδοση 2012) τα κεφάλαια 1, 3, 5.

**Επιστημονικός Υπεύθυνος –
Διεύθυνση Ομάδων Εργασίας:
Στέλιος Λιοδάκης**

Ομάδα Συγγραφής:

**Στέλιος Λιοδάκης, Δρ. Χημικός,
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ**

**Δημήτρης Γάκης, Δρ. Χημικός
Μηχανικός, Λέκτορας ΕΜΠ**

**Δημήτρης Θεοδωρόπουλος,
Χημικός Μηχανικός Δ/θμιας
Εκπαίδευσης**

**Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος,
Χημικός Δ/θμιας Εκπαίδευσης**

**Αναστάσιος Κάλλης, Χημικός
Δ/θμιας Εκπαίδευσης**

Ομάδα Τεχνικής Υποστήριξης:

**Στάθης Σιάνος, Χημικός Μηχανικός
ΕΜΠ**

**Ηρακλής Αγιοβλασίτης, φοιτητής
στη σχολή Χημικών Μηχανικών,
ΕΜΠ**

Άννα Γάκη, φοιτήτρια στη σχολή
Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Βλάσσης Παπανικολάου, φοιτητής
στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχα-
νικών, ΕΜΠ

Άντζελα Λαζάρου, φωτογράφος
ΤΕΙ Αθήνας

Γλωσσική Επιμέλεια:

Χρήστος Ανδρίτσος

Τεχνική Επιμέλεια:

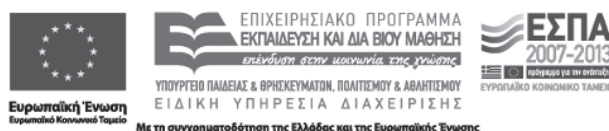
Στέλιος Λιοδάκης

**Υπεύθυνος στο πλαίσιο του
Παιδαγωγικού Ινστιτούτου:**

Δρ. Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης,
Χημικός, M.Ed., Ph.D., Σύμβουλος
Π.Ι.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».



Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Η αξιολόγηση, η κρίση των προσαρμογών και η επιστημονική επιμέλεια του προσαρμοσμένου βιβλίου πραγματοποιείται από τη Μονάδα Ειδικής Αγωγής του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Η προσαρμογή του βιβλίου για μαθητές με μειωμένη όραση από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ πραγματοποιείται με βάση τις προδιαγραφές που έχουν αναπτυχθεί από ειδικούς εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ
ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ**

**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Σ. Λιοδάκης, Δ. Γάκης,
Δ. Θεοδωρόπουλος,
Π. Θεοδωρόπουλος, Α. Κάλλης**

**Η συγγραφή και η επιστημονική
επιμέλεια του βιβλίου
πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα
του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου**

**Χημεία
γ' λυκείου**

**Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών**

Τόμος 1ος

Ι.Τ.Υ.Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με το βιβλίο αυτό αρχίζει μια νέα προσπάθεια για την ανανέωση και τον εκσυγχρονισμό των συγγραμμάτων του Λυκείου. Ανανέωση τόσο στο περιεχόμενο όσο και στο ύφος, ώστε να μην είναι το σχολικό βιβλίο μια ξερή μόνο παράθεση μέρους των γνώσεων που συσσωρεύονται από τους επιστήμονες αιώνες τώρα.

Με ένα πολύ απλό ύφος γίνεται προσπάθεια να δοθούν οι θεμελιώδεις αρχές της Χημείας και μέσα από παραδείγματα της καθημερινής ζωής, ώστε και πιο κατανοητές να γίνουν και επιπλέον να βοηθήσουν τον αναγνώστη - μαθητή να αναπτύξει ένα κριτικό βλέμμα για ό,τι συμβαίνει γύρω και μέσα του.

Η βασική αρχή που ακολουθήθηκε τόσο στην παράθεση της θεωρίας όσο και στην εκλογή των ασκήσεων και των προβλημάτων είναι ότι ο μαθητής, από το δίδυμο δάσκαλος - βιβλίο, πρέπει να μπορεί να μαθαίνει και όχι μόνο να διδάσκεται, να μπορεί να βρίσκει και όχι μόνο να του λένε.

Όσον αφορά τη θεωρία αυτού του βιβλίου έγινε προσπάθεια να είναι προσαρμοσμένη στις νοητικές δυνατότητες των μαθητών που προορίζεται, εξασφαλίζοντας στο μέγιστο δυνατό βαθμό τη μετάπλαση της επιστημονικής γνώσης σε διδακτέα ύλη.

Προσπαθήσαμε κατά το δυνατόν να ακολουθήσουμε τις σύγχρονες τάσεις συγγραφής διδακτικών βιβλίων, μέσα στα πλαίσια βέβαια του

δεδομένου αναλυτικού προγράμματος.

Για να το πετύχουμε αυτό στηριχθήκαμε:

- σε σύγχρονη βιβλιογραφία η οποία περιλαμβάνει και εκπαιδευτικά περιοδικά.
- σε ελκυστικό φωτογραφικό υλικό το οποίο σε κάποιο ποσοστό ικανοποιεί τον όρο πειραματική χημεία.
- σε ιστορικές αναφορές με σκοπό να καταλάβει ο μαθητής - αναγνώστης ότι το θαυμάσιο αυτό οικοδόμημα της Χημείας στήθηκε από ανθρώπους αφοσιωμένους, αλλά «ανθρώπινους», μέσα από λάθη, αντιγνωμίες, απογοητεύσεις αλλά και θριάμβους.
- σε μεγάλο αριθμό των «γνωρίζεις ότι...», όπου αναφέρονται

σύγχρονα θέματα τα οποία ενδιαφέρουν κάθε σκεπτόμενο άνθρωπο. Σε αυτά η χημεία είναι «εν δράσει» και αναδεικνύεται ως η επιστήμη της «κάθε μέρας». Χωρίς αυτά να είναι «εξεταστέα ύλη» ελπίζουμε να είναι «ύλη - πρόκληση» για περαιτέρω βιβλιογραφική έρευνα σε βιβλιοθήκες και υπολογιστές.

Η επιλογή των ασκήσεων και των προβλημάτων έγινε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει συμφωνία με τις δυνατότητες των μαθητών και ο βαθμός δυσκολίας να είναι τέτοιος, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή της απάντησης μέσα από τη θεωρία του βιβλίου αυτού.

Ο ικανοποιητικός αριθμός των ασκήσεων και των προβλημάτων έχει στόχο, όχι την επίλυση όλων

αυτών μέσα στην τάξη, αλλά την πλήρη παροχή ενός υλικού, ώστε μέσα από τη δημιουργική συνεργασία δασκάλου - μαθητή να επιτυγχάνεται η πλήρης αφομοίωση και εμπέδωση της ύλης που θα διδαχθεί. Ο πλούτος των προβλημάτων καθώς και των λυμένων εφαρμογών κάνει, για τον μέσο μαθητή, περιττό κάθε άλλο βοήθημα.

Η συγγραφική ομάδα



[1]

ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

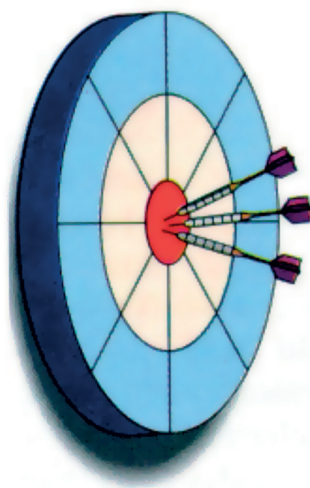
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1.1 Αριθμός οξείδωσης
Οξείδωση-αναγωγή
- 1.2 Κυριότερα οξειδωτικά-
αναγωγικά. Αντιδράσεις
οξειδοαναγωγής
- 1.3 Ηλεκτροχημεία - Αγωγοί
ηλεκτρικού ρεύματος -
Ηλεκτρόλυση - μηχανισμός
-εφαρμογές
- 1.4 Νόμοι ηλεκτρόλυσης
Ερωτήσεις - Προβλήματα

ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος της διδακτικής αυτής ενότητας θα πρέπει να μπορείς:

- Να ορίζεις τι είναι αριθμός οξείδωσης και να υπολογίζεις τον αριθμό οξείδωσης ενός στοιχείου σε μια χημική ένωση.
- Να ορίζεις τι είναι οξείδωση και τι αναγωγή με βάση α) την πρόσληψη ή αποβολή οξυγόνου ή υδρογόνου, β) την πρόσληψη ή αποβολή ηλεκτρονίων, γ) τη μεταβολή του αριθμού οξείδωσης.
- Να αναφέρεις τις κυριότερες οξειδωτικές και αναγωγικές ουσίες, καθώς και τα αντίστοιχα προϊόντα αυτών κατά τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.



- Να συμπληρώνεις και να ισοσταθμίζεις τις χημικές εξισώσεις οξειδοαναγωγής.
- Να ορίζεις τι είναι ηλεκτρόλυση. Να περιγράφεις ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο (ή βολτόμετρο) και να εξηγείς το μηχανισμό ηλεκτρόλυσης. Να αναφέρεις τα προϊόντα ηλεκτρόλυσης υδατικών διαλυμάτων ή τηγμάτων οξέων, βάσεων και αλάτων.
- Να αναφέρεις τους νόμους ηλεκτρόλυσης. Να υπολογίζεις την ποσότητα της ουσίας που αποτίθεται ή απελευθερώνεται στα ηλεκτρόδια αν δοθεί η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου και αντίστροφα από την ποσότητα της ουσίας να προσδιορίζεις την ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη.

- Να περιγράψεις χαρακτηριστικές εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης στην παρασκευή χημικών ουσιών, στον καθαρισμό μετάλλων και στην επιμετάλλωση αντικειμένων.



Το μέλλον της ανθρωπότητας πιθανόν κρύβεται σε μια οξειδοαναγωγική αντίδραση. Για παράδειγμα φέρνουμε την ερευνητική προσπάθεια

που γίνεται τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή του «καθαρού» καυσίμου H_2 με διάσπαση νερού. Στην εικόνα παρουσιάζεται μια

τέτοια προσέγγιση. Ηλιακό φως προσπίπτει σε ένα κομμάτι πυριτίου βουτηγμένο σε υδατικό διάλυμα υδροχλωρίου (ηλεκτρολύτης). Μια σειρά οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων λαμβάνει χώρα. Η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και η ηλεκτρική σε χημική. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να διασπάται το νερό προς σχηματισμό H_2 , με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας.

[1]

ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

Εισαγωγή

Αν κανείς αξιολογούσε τα χημικά φαινόμενα από άποψη σημασίας στη ζωή του ανθρώπου, δύσκολα θα αρνιόταν την πρώτη θέση στην οξειδοαναγωγή. Στη βιολογία η αναπνοή των αερόβιων οργανισμών, στην τεχνολογία η καύση, οι βασικές μεταλλουργικές διεργασίες, η διάβρωση των μετάλλων, τα γαλβανικά στοιχεία (μπαταρίες) και πολλά άλλα είναι στη βάση τους αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μπορούμε να πούμε ότι έχουν ως

κοινό γνώρισμα τη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των αντιδρώντων ουσιών. Παρ' όλο που ορισμός της οξειδοαναγωγής έχει διευρυνθεί σήμερα, ώστε να καλύπτει και άλλες περιπτώσεις.

- Κατά την αναπνοή μεταφέρεται και καταναλώνεται οξυγόνο στους ιστούς.**

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε κατ' αρχάς πώς ορίζεται η οξείδωση και πώς η αναγωγή. Θα ορίσουμε τι είναι οξειδωτική και τι αναγωγική ουσία. Θα δώσουμε παραδείγματα οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και θα μάθουμε πως γίνεται η ισοστάθμιση αυτών (εύρεση των συντελεστών). Τέλος, θα μελετήσουμε το

φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης, θα θίξουμε τους νόμους και θα αναφερθούμε σε χαρακτηριστικές εφαρμογές της, όπως είναι η παραγωγή ορισμένων μετάλλων, οι επιμεταλλώσεις, η προστασία υλικών από διάβρωση κλπ.

Σε επόμενο κεφάλαιο, θα μελετήσουμε κάτω από ποιες συνθήκες μια αντίδραση οξειδοαναγωγής γίνεται αυθόρμητα και πώς μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μια τέτοια αυθόρμητη αντίδραση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (αρχή λειτουργίας μπαταρίας).

- Αυθόρμητη ονομάζεται μια αντίδραση που γίνεται από μόνη της και που οδηγεί πολλές φορές το αντιδρών σύστημα σε κατάσταση μικρότερης ενέργειας.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι οι σχέσεις ανάμεσα στις χημικές μεταβολές και την ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τόσο από θεωρητική, όσο από πρακτική σκοπιά. Τα θέματα αυτά αποτελούν το κέντρο βάρους της ανάπτυξης που δίνεται στο παρόν κεφάλαιο και σ' αυτό που αποτελεί τη συνέχειά του, δηλαδή την ηλεκτροχημεία.

[1.1]

Αριθμός οξείδωσης Οξείδωση - αναγωγή

Τι είναι οξείδωση και αναγωγή

Αρχικά και πριν γίνει γνωστή η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων, είχε δοθεί ο εξής ορισμός για την οξείδωση:

Οξείδωση είναι η ένωση ενός στοιχείου με το οξυγόνο ή η αφαίρεση υδρογόνου από μια χημική ένωση.

π.χ. ο C οξειδώνεται σε CO_2 κατά την αντίδραση: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Επίσης το HCl οξειδώνεται σε Cl_2 :
 $4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

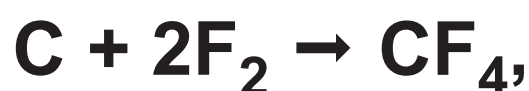
Αντίστοιχα, για την αναγωγή δόθηκε ο ορισμός:

Αναγωγή είναι η ένωση ενός στοιχείου με το υδρογόνο ή η αφαίρεση οξυγόνου από μια χημική ένωση.

**π.χ. Το Br_2 ανάγεται σε HBr κατά την αντίδραση: $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{HBr}$
και το ZnO ανάγεται σε Zn :**



Όμως, υπάρχουν και άλλες αντιδράσεις, όπως:



- Η χημική εξίσωση που περιγράφει τη χημική αντίδραση αναφέρεται πολλές φορές και ως χημική αντίδραση.

που μοιάζουν με τις προηγούμενες και που μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία της οξειδοαναγωγής.

Έτσι αργότερα, όταν έγινε γνωστή η ηλεκτρονιακή θεωρία για τη δομή του ατόμου και εξηγήθηκαν οι χημικοί δεσμοί, ο ορισμός της οξειδοαναγωγής διευρύνθηκε:

Οξείδωση είναι η αποβολή ηλεκτρονίων

Αναγωγή είναι η πρόσληψη ηλεκτρονίων

Με βάση τους τελευταίους ορισμούς γίνεται φανερό ότι για να γίνει οξείδωση δεν είναι οπωσδήποτε απαραίτητο το οξυγόνο, αλλά οποιοδήποτε ηλεκτραρνητικό στοιχείο, όπως π.χ. το φθόριο, που έχει τάση να προσλαμβάνει ηλεκτρόνια. Με

ανάλογο τρόπο δεν είναι απαραίτητη η παρουσία του υδρογόνου για την αναγωγή ενός σώματος, αλλά ενός οποιουδήποτε ηλεκτροθετικού στοιχείου π.χ. Na, που έχει τάση να αποβάλλει ηλεκτρόνια.

Υπάρχουν όμως αντιδράσεις οξειδοαναγωγής που δεν καλύπτονται από τον προηγούμενο ορισμό.



Στις αντιδράσεις αυτές δεν παρατηρείται μεταφορά (αποβολή ή πρόσληψη) ηλεκτρονίων, αλλά απλή μετατόπιση φορτίων λόγω των πολωμένων ομοιοπολικών δεσμών στις μοριακές ενώσεις που σχηματίζονται.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο να δοθεί ένας γενικότερος ορισμός για

την οξειδοαναγωγή, ώστε να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις. Για το σκοπό αυτό επινοήθηκε ένας νέος όρος στη χημεία, ο αριθμός οξείδωσης. Ο αριθμός οξείδωσης μας βοηθά επιπλέον στη γραφή των μοριακών τύπων των ανόργανων ενώσεων (βλέπε Α΄ Λυκείου), στη συστηματική κατάταξη των χημικών αντιδράσεων και στην ισοστάθμιση των χημικών εξισώσεων οξειδοαναγωγής.

Αριθμός Οξείδωσης

Έστω, δύο στοιχεία Α και Β που σχηματίζουν ομοιοπολικό δεσμό Α–Β (με παύλα – συμβολίζουμε το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων). Αν θεωρήσουμε ότι το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων ανήκει εξ ολοκλήρου στο ηλεκτραρνητικότερο από τα δύο

στοιχεία, (ας πούμε στην προκειμένη περίπτωση το B), τότε φαινομενικά η ένωση έχει τη δομή $A^+ B^-$. Το φαινομενικό αυτό φορτίο των A και B ονομάζεται αριθμός οξειδωσης (A.O.). Δηλαδή το A έχει $A.O. = +1$ και το B έχει $A.O. = -1$. Μετά απ' αυτό μπορούμε να δώσουμε τον εξής ορισμό:

- Αριθμός οξειδωσης ενός ατόμου σε μια μοριακή (ομοιοπολική) ένωση, ονομάζεται το φαινομενικό φορτίο που θα αποκτήσει το άτομο αν τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων αποδοθούν στο ηλεκτραρνητικότερο άτομο (το άτομο που τα έλκει περισσότερο). Αντίστοιχα, αριθμός οξειδωσης ενός ιόντος σε μια ιοντική (ετεροπολική ένωση) είναι το πραγματικό φορτίο του ιόντος.

- Ηλεκτροαρνητικότητα ενός ατόμου είναι η δύναμη (τάση) με την οποία το άτομο έλκει ηλεκτρόνια μέσα στα μόρια των ενώσεών του με άλλα άτομα.

Για την καλύτερη κατανόηση του υπολογισμού του αριθμού οξείδωσης παραθέτουμε δύο πίνακες. Στον πρώτο (πίνακας 1.1) δίνονται οι τιμές ηλεκτραρνητικότητας χαρακτηριστικών στοιχείων. Στο δεύτερο (πίνακας 1.2) επιδεικνύεται με χαρακτηριστικά παραδείγματα ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται θεωρητικά ο αριθμός οξείδωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Τιμές ηλεκτραρνητικότητας ορισμένων στοιχείων

H 2,1						
Li 1	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0
K 0,8						

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Υπολογισμός Α.Ο. με βάση το συντακτικό τύπο της ένωσης

Ένωση	Συντακτικός Τύπος	«Φαινομενική» Ιοντική δομή	Αριθμός Οξειδωσης
Νερό	$\text{H}-\text{O}-\text{H}$	$\text{H}^+ - \text{O}^{2-} - \text{H}^+$	H: +1 O: -2
Τετραχλωράνθρακας (Τετραχλωρομεθάνιο)	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl}^- \\ \\ \text{Cl}^- - \text{C}^{4+} - \text{Cl}^- \\ \\ \text{Cl}^- \end{array}$	C: +4 Cl: -1

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Υπολογισμός Α.Ο. με βάση
το συντακτικό τύπο της ένωσης**

Ένωση	Συντακτικός Τύπος	«Φαινομενική» ιοντική δομή	Αριθμός Οξειδωσης
Υπεροξειδίου του υδρογόνου	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{O} - \text{O} - \text{H} \end{array}$	$\text{H}^+ - (\text{O} - \text{O})^{2-} - \text{H}^+$	O: -1 H: +1
Φθορίδιο του οξυγόνου	$\text{F} - \text{O} - \text{F}$	$\text{F}^- - \text{O}^{2+} - \text{F}^-$	O: +2 F: -1

Πρακτικά, για να υπολογίσουμε τον αριθμό οξείδωσης ενός στοιχείου σε μια ένωση ή σε ένα ιόν, ακολουθούμε τους παρακάτω κανόνες. Οι πρακτικοί αυτοί κανόνες προκύπτουν με βάση τον ορισμό του αριθμού οξείδωσης και τις τιμές ηλεκτραρνητικότητας των στοιχείων.

ΠΡΑΚΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ Α.Ο.

1. Τα ελεύθερα στοιχεία π.χ. Na, Cl₂ έχουν Α.Ο. ίσο με το μηδέν.
2. Ο Α.Ο. των μονοατομικών ιόντων ισούται με το φορτίο των ιόντων.
3. Το φθόριο (F) στις ενώσεις του έχει Α.Ο. -1.
4. Το οξυγόνο (O) στις ενώσεις του έχει Α.Ο. -2, εκτός από το OF₂,

- όπου έχει + 2 και τα υπεροξειδία π.χ. H_2O_2 , όπου έχει - 1.
5. Ο Α.Ο. του υδρογόνου (H) είναι + 1, όταν ενώνεται με αμέταλλα π.χ. HCl και - 1, όταν ενώνεται με μέταλλα π.χ. NaH .
6. Τα μέταλλα στις ενώσεις τους έχουν θετικό Α.Ο. Τα αλκάλια (π.χ. K , Na) έχουν Α.Ο. = + 1 και οι αλκαλικές γαίες (π.χ. Ca , Mg) Α.Ο. = + 2.
7. Το άθροισμα των Α.Ο. των ατόμων σε μια ένωση ισούται με το μηδέν, ενώ το άθροισμα των Α.Ο. των ατόμων σε πολυατομικό ιόν ισούται με το φορτίο του ιόντος.

Ο τελευταίος κανόνας είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τον υπολογισμό του αριθμού οξείδωσης ενός στοιχείου σε μια ένωση ή σε ένα ιόν.
 π.χ. αν θέλουμε να βρούμε τον αριθμό οξείδωσης του C στις ενώσεις: CH_4 , CH_3OH , HCHO , HCOOH , CO_2 και C_3H_8 , εφαρμόζουμε διαδοχικά τον τελευταίο κανόνα και έχουμε:

$$\text{CH}_4 : \quad 4 + x = 0 \text{ ή } x = -4 \text{ όπου } x \text{ ο Α.Ο. του C στο } \text{CH}_4.$$

$$\text{CH}_3\text{OH} : \quad 4 + x - 2 = 0 \text{ ή } x = -2$$

$$\text{HCHO} : \quad 2 + x - 2 = 0 \text{ ή } x = 0$$

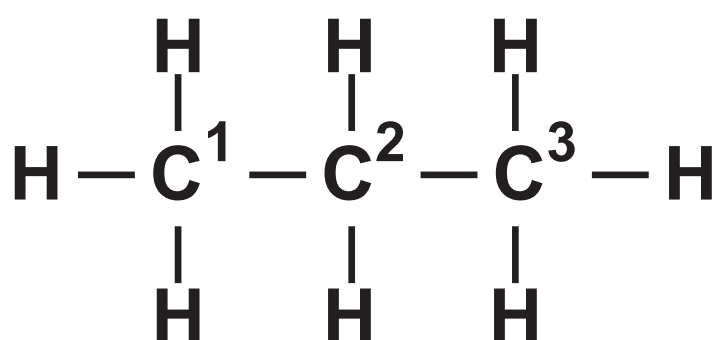
$$\text{HCOOH} : \quad 2 + x - 4 = 0 \text{ ή } x = +2$$

$$\text{CO}_2 : \quad x - 4 = 0 \text{ ή } x = +4$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 : \quad 3x + 8 = 0 \text{ ή } x = \frac{-8}{3}.$$

Παρατηρούμε στο τελευταίο παράδειγμα, με βάση τους πρακτικούς

κανόνες ότι ο αριθμός οξείδωσης ενός στοιχείου μπορεί να είναι κλασματικός αριθμός. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν έχουν όλα τα άτομα άνθρακα στο μόριο του C_3H_8 την ίδια τιμή αριθμού οξείδωσης. Η τιμή $-\frac{8}{3}$ αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των τιμών αυτών. Αναλυτικά αν γράψουμε το συντακτικό τύπο του C_3H_8 :



και αριθμήσουμε τα άτομα άνθρακα απ' αριστερά προς τα δεξιά 1, 2, 3, έχουμε:

το 1ο άτομο C έχει: A.O. = -3

το 2ο άτομο C έχει: A.O. = -2

το 3ο άτομο C έχει: A.O. = -3

Μετά την εισαγωγή του αριθμού οξείδωσης, μπορεί να δοθεί ο παρακάτω ορισμός για την οξειδοαναγωγή:

Οξείδωση είναι η αύξηση του αριθμού οξείδωσης ατόμου ή ιόντος.

Αναγωγή είναι η ελάττωση του αριθμού οξείδωσης ατόμου ή ιόντος.

Ο ορισμός αυτός καλύπτει όλες τις δυνατές περιπτώσεις που ονομάζουμε σήμερα οξείδωση και αναγωγή. Δηλαδή, κάθε αύξηση του αριθμού οξείδωσης ενός στοιχείου αντιστοιχεί σε οξείδωση και αντιστρόφως κάθε φαινόμενο οξείδωσης αντιστοιχεί σε κάποια αύξηση του αριθμού οξείδωσης ενός

στοιχείου. Με το ίδιο σκεπτικό, κάθε ελάττωση του αριθμού οξείδωσης αντιστοιχεί σε αναγωγή και κάθε αναγωγή αντιστοιχεί σε κάποια ελάττωση του αριθμού οξείδωσης ενός στοιχείου.

Οξειδοαναγωγή

Αν σε μια αντίδραση σε κάποιο άτομο ή ιόν έχουμε αύξηση του αριθμού οξείδωσης, δηλαδή οξείδωση, πρέπει σε κάποιο άλλο άτομο να έχουμε ελάττωση του αριθμού οξείδωσης, δηλαδή αναγωγή. Παρατηρούμε λοιπόν ότι μια αντίδραση οξείδωσης συνοδεύεται απαραίτητα με αναγωγή γι' αυτό και οι αντιδράσεις αυτές ονομάζονται οξειδοαναγωγικές.

Υπάρχουν αντιδράσεις στις οποίες δε μεταβάλλεται ο αριθμός οξείδωσης των στοιχείων που συμμετέχουν σ' αυτές. Οι αντιδράσεις αυτές ονομάζονται μεταθετικές (ή μη οξειδοαναγωγικές). Τέτοιες αντιδράσεις είναι οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης και διπλής αντικατάστασης, που συναντήσαμε στο κεφάλαιο των οξέων - βάσεων (Α' Λυκείου).

Παράδειγμα 1.1

Ποιες από τις παρακάτω αντιδράσεις είναι οξειδοαναγωγής και ποιες μεταθετικές; Σε κάθε αντίδραση οξειδοαναγωγής να βρεθεί ποιο στοιχείο οξειδώνεται και ποιο ανάγεται.





ΑΠΑΝΤΗΣΗ

1. Στην αντίδραση $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ο άνθρακας οξειδώνεται από 0 σε +4 και το οξυγόνο ανάγεται από 0 σε -2.

2. Στην αντίδραση $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ το νάτριο οξειδώνεται από 0 σε +1 και το χλώριο ανάγεται από 0 σε -1.

3. Στην αντίδραση $\text{Zn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ ο ψευδάργυρος οξειδώνεται από 0 σε +2 και το υδρογόνο ανάγεται από +1 σε 0.

4. Στην αντίδραση αυτή κανενός στοιχείου ο Α.Ο. δεν μεταβάλλεται, δηλαδή η αντίδραση είναι μεταθετική.

5. Και η αντίδραση αυτή είναι μεταθετική.

Εφαρμογή

Να βρεθεί ποιες από τις επόμενες αντιδράσεις είναι οξειδοαναγωγικές και ποιες όχι. Σε κάθε αντίδραση οξειδοαναγωγής να βρεθεί ποιο στοιχείο οξειδώνεται και ποιο ανάγεται.



[1.2]

**Κυριότερα οξειδωτικά -
αναγωγικά.**

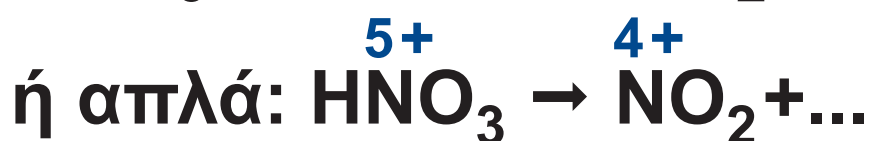
Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής

Παρατηρούμε στην αντίδραση $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ότι το O_2 , το οποίο ανάγεται, προκαλεί οξείδωση στον C και ο C, ο οποίος οξειδώνεται, προκαλεί αναγωγή στο O_2 . Στο παράδειγμα αυτό το οξυγόνο χαρακτηρίζεται ως οξειδωτική ουσία, ενώ ο άνθρακας ως αναγωγική ουσία. Για να γίνει όμως οξείδωση δεν είναι οπωσδήποτε απαραίτητο το οξυγόνο, αλλά οποιοδήποτε στοιχείο ή ένωση ή ιόν, που έχει άτομο διαθέσιμο να κατέβει την κλίμακα τιμών αριθμού οξείδωσής του (βλέπε

σχήμα στη σελίδα 43). Γενικεύοντας μπορούμε να ορίσουμε:

- Οξειδωτικές ουσίες ή απλά οξειδωτικά ονομάζονται οι ουσίες (στοιχεία, χημικές ενώσεις ή ιόντα) που προκαλούν οξείδωση.

Τα οξειδωτικά περιέχουν άτομα που μπορούν να αναχθούν, που μπορούν δηλαδή να ελαττώσουν τον αριθμό οξείδωσής τους. Π.χ το πυκνό διάλυμα HNO_3 χαρακτηρίζεται ως οξειδωτικό, καθώς κατά την μετατροπή του σε NO_2 , το άζωτο κατεβαίνει από +5 σε +4 την κλίμακα αριθμών οξείδωσής του. Αυτή την αντίδραση μπορούμε να τη συμβολίσουμε είτε με ημιαντίδραση ιόντων - ηλεκτρονίων:



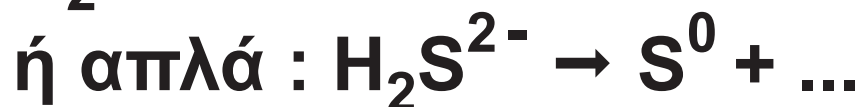
στην οποία φαίνεται η μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του αζώτου.

Με ανάλογο τρόπο μπορούμε να ορίσουμε τα αναγωγικά:

- Αναγωγικές ουσίες ή απλά αναγωγικά ονομάζονται οι ουσίες (στοιχεία, χημικές ενώσεις ή ιόντα) που προκαλούν αναγωγή.

Τα αναγωγικά περιέχουν άτομα που μπορούν να οξειδωθούν, που μπορούν δηλαδή να αυξήσουν τον αριθμό οξείδωσής τους. Π.χ. το H_2S χαρακτηρίζεται ως αναγωγικό, καθώς κατά τη μετατροπή σε S , το θείο ανεβαίνει την κλίμακα αριθμών οξείδωσής του από -2 σε 0.

Αυτή την αντίδραση μπορούμε να την περιγράψουμε με μια ημιαντίδραση ιόντων - ηλεκτρονίων:



στην οποία φαίνεται η μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του θείου.

Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται οι πιο συνηθισμένες οξειδωτικές και αναγωγικές ουσίες.

- Η οξειδωτική ουσία:
 - προκαλεί οξείδωση
 - ανάγεται
 - προσλαμβάνει ηλεκτρόνια
 - κατεβαίνει τη σκάλα οξειδοαναγωγής (ο Α.Ο. μειώνεται)



- Η αναγωγική ουσία:
 - προκαλεί αναγωγή
 - οξειδώνεται
 - αποβάλλει ηλεκτρόνια
 - ανεβαίνει τη σκάλα οξειδοαναγωγής (ο Α.Ο. αυξάνεται)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: Κυριότερες οξειδωτικές και αναγωγικές ουσίες

ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ

Στοιχεία

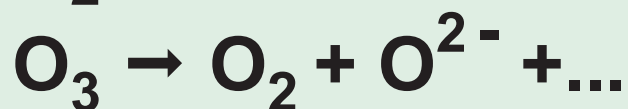
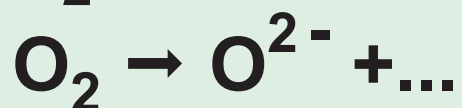
Οξειδωτικά στοιχεία είναι τα αμέταλλα τα οποία έχουν την ακόλουθη σειρά οξειδωτικής ισχύος:



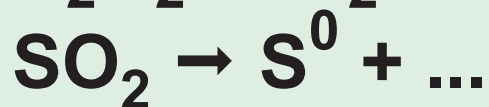
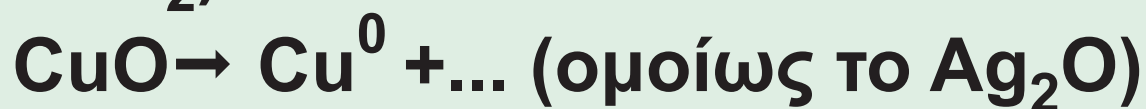
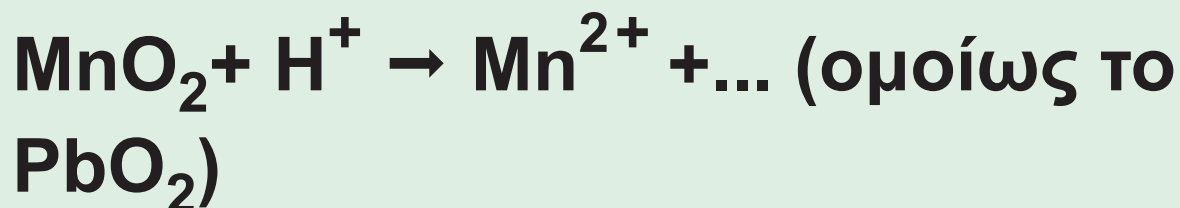
Δηλαδή το Cl_2 είναι πιο οξειδωτικό από το Br_2 . Έτσι έχουμε:



Συνοπτικά ισχύει:



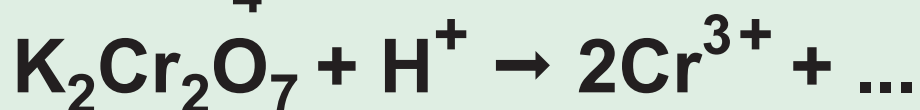
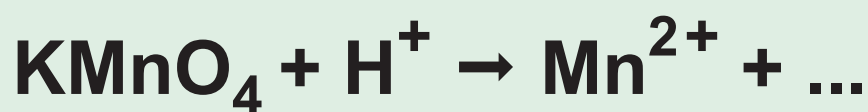
Οξειδία



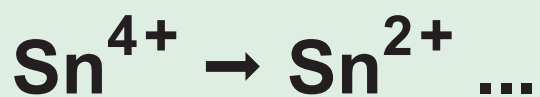
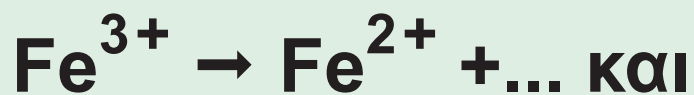
Οξέα



Άλατα

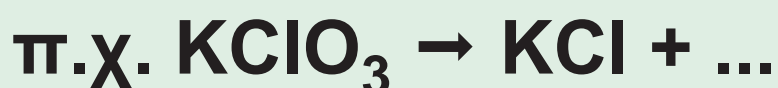


Άλατα που περιέχουν μέταλλο με τον ανώτερο Α.Ο. αυτού π.χ.



οξυγονούχα άλατα αλογόνων →

→ αλογονούχα άλατα



ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΑΝΑΓΩΓΙΚΑ

Στοιχεία

Μέταλλα

Η σειρά αναγωγικής ισχύος των μετάλλων σε σχέση με το υδρογόνο είναι:

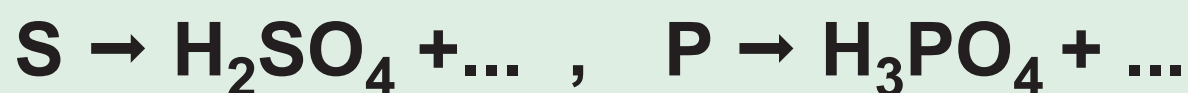
K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H₂, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au

Δηλαδή το Κ είναι πιο αναγωγικό από το Na.

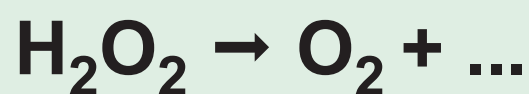
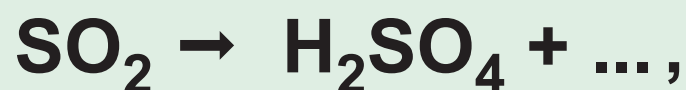


Γενικά ισχύει: $\text{M} \rightarrow \text{M}^{x+} + \dots$

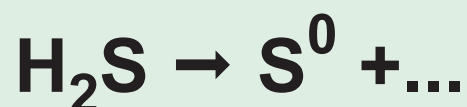
Ορισμένα αμέταλλα (π.χ. C, S, P, H₂)

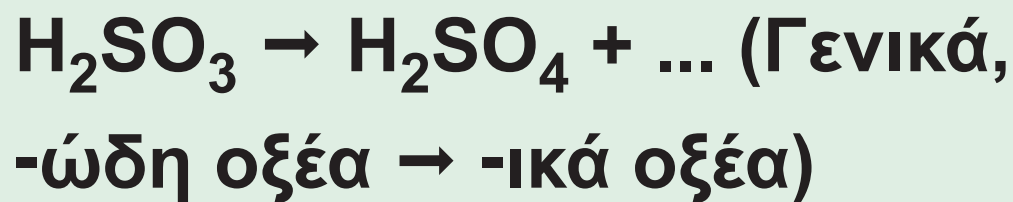


Οξειδία

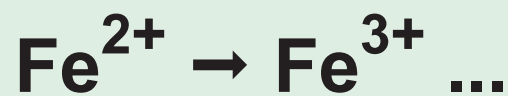
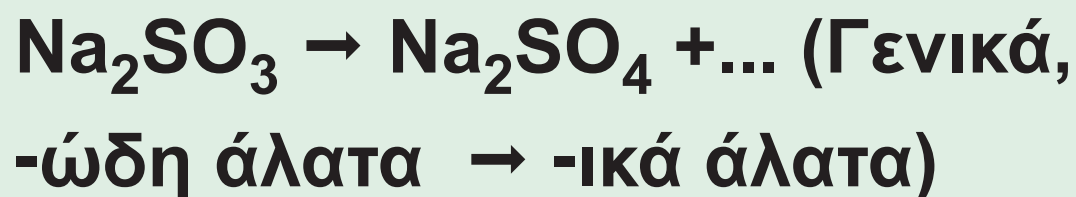


Οξέα

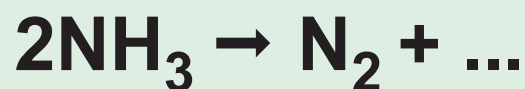




Άλατα



Αμμωνία



Συμπλήρωση αντιδράσεων οξειδοαναγωγής

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, για διδακτικούς λόγους, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες.

1. Σύνθεση. Στις αντιδράσεις αυτές δύο ή περισσότερα στοιχεία ενώνονται προς σχηματισμό μιας χημικής ένωσης π.χ. $C + O_2 \rightarrow CO_2$.

2. Αποσύνθεση και διάσπαση. Στην αποσύνθεση μια ένωση διασπάται στα στοιχεία της π.χ.

$2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$. Στις αντιδράσεις διάσπασης παράγονται ενώσεις

π.χ. $2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$. Ωστόσο,

υπάρχουν αντιδράσεις διάσπασης που δεν είναι οξειδοαναγωγής, π.χ.

$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

3. Απλή αντικατάσταση. Στις αντιδράσεις αυτές ένα στοιχείο αντικαθίσταται από κάποιο άλλο δραστηκότερό του. Η σειρά δραστηκότητας των μετάλλων και αμετάλλων προκύπτει με βάση τη σειρά ηλεκτροθετικότητας και ηλεκτραρνητικότητας, αντίστοιχα (σειρά αναγωγικής και οξειδωτικής ισχύος). Η σειρά αυτή αναφέρεται στον πίνακα 1.3 των οξειδωτικών και αναγωγικών ουσιών.

Να παρατηρήσουμε, ότι στις αντικαταστάσεις μετάλλων το μέταλλο εμφανίζεται στα προϊόντα με το μικρότερο αριθμό οξείδωσης (εκτός από το Cu που δίνει Cu^{2+}) π.χ.

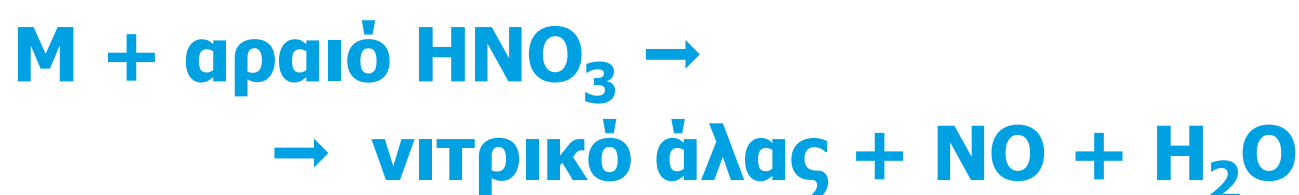
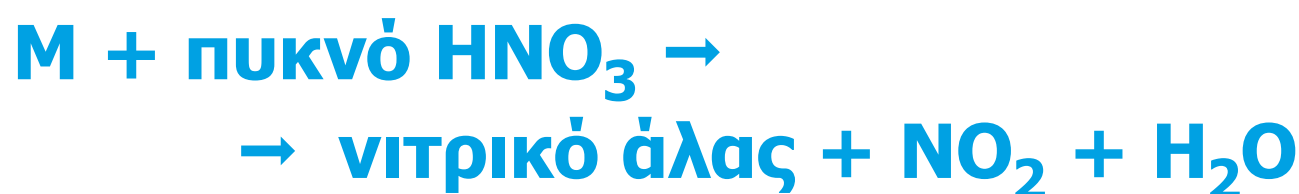


4. Πολύπλοκες αντιδράσεις. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι

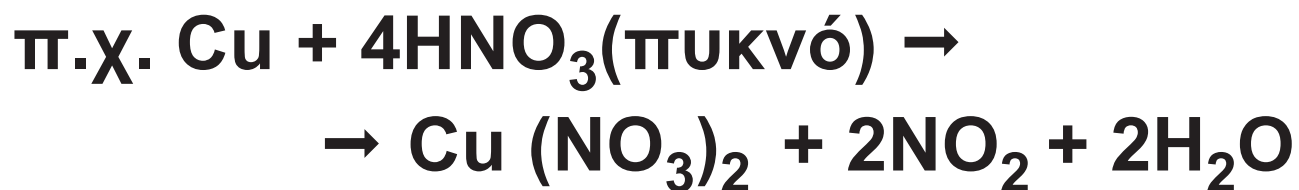
αντιδράσεις εκείνες που δεν μπορούν να υπαχθούν σε μια από τις προηγούμενες κατηγορίες. π.χ.
 $3\text{H}_2\text{S} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{S} + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$.
Χαρακτηριστικά παραδείγματα αντιδράσεων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι:

α. οξείδωση μετάλλων με οξειδωτικά οξέα

Οι αντιδράσεις αυτές έχουν τη γενική μορφή:



Όπου, Μ μέταλλο εκτός Pt και Au.
Επίσης, το άλας που προκύπτει φέρει το μέταλλο συνήθως με το μεγαλύτερο αριθμό οξειδωσής του.



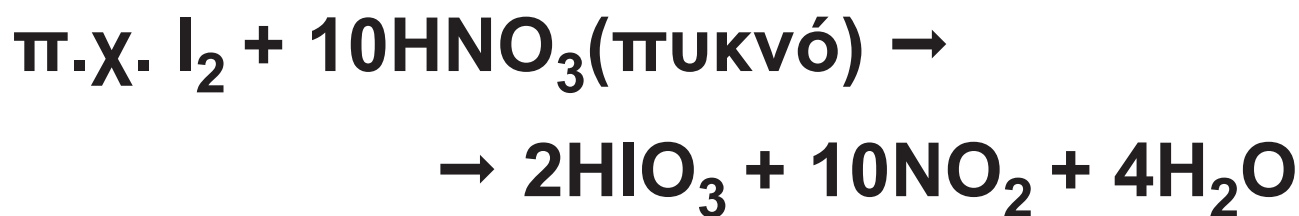
- Το «βασιλικό νερό», που είναι μίγμα HNO_3 και HCl με αναλογία mol 1:3, οξειδώνει όλα τα μέταλλα ακόμα και τα ευγενή Au και Pt. Κατά την αντίδραση αυτή το μέταλλο μετατρέπεται σε χλωριούχο άλας με το μεγαλύτερο αριθμό οξειδωσης, ενώ εκλύεται NO.

β. οξείδωση αμετάλλων με οξειδωτικά οξέα

Από τις αντιδράσεις αυτές ιδιαίτερο

ενδιαφέρον παρουσιάζουν όσες
δίνονται στον πίνακα:

	C	P	S	I
πυκνό - θερμό H_2SO_4	CO_2	H_3PO_4	SO_2	-
πυκνό HNO_3	CO_2	H_3PO_4	H_2SO_4	HIO_3
αραιό HNO_3	-	H_3PO_4	H_2SO_4	-



Οι αντιδράσεις της κατηγορίας 1, 2, 3, μπορούν εύκολα να ισοσταθμιστούν. Όμως, η ισοστάθμιση (η εύρεση των συντελεστών) των «πολύπλοκων» οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων παρουσιάζει κάποια δυσκολία. Δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ισοστάθμιση μιας πολύπλοκης αντίδρασης οξειδοαναγωγής:

1. Μέθοδος ημιαντιδράσεων. Αυτή στηρίζεται στις ημιαντιδράσεις ιόντων - ηλεκτρονίων της οξειδωτικής και αναγωγικής ουσίας.

2. Μέθοδος μεταβολής του αριθμού οξείδωσης. Αυτή βασίζεται στις μεταβολές του αριθμού οξείδωσης του οξειδωτικού και αναγωγικού. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για την εφαρμογή της μιας ή της άλλης μεθόδου απαιτείται η γνώση

των προϊόντων αντίδρασης, τα οποία προκύπτουν με βάση τους πίνακες των οξειδωτικών και αναγωγικών ουσιών. Παρακάτω περιγράφεται η μέθοδος της μεταβολής του αριθμού οξείδωσης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις φαίνεται απλούστερη της πρώτης. Ακολουθούν αρκετά παραδείγματα για την εμπέδωση της μεθόδου.

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ
ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΟΞΕΙΔΟΑ-
ΝΑΓΩΓΗΣ «ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΥ»
ΜΟΡΦΗΣ**

1. Γράφουμε τα αντιδρώντα (οξειδωτικό - αναγωγικό).
2. Γράφουμε τα προϊόντα αυτών, όπως προκύπτουν από τους πίνακες 1.3 των οξειδωτικών και

αναγωγικών ουσιών.

3. Ισοσταθμίζουμε τα οξειδωτικά και αναγωγικά με τα προϊόντα αυτών. Παίρνουμε τόσα άτομα από το στοιχείο που οξειδώνεται όση είναι η μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του στοιχείου που ανάγεται και αντίστροφα, τόσα άτομα από το στοιχείο που ανάγεται όση είναι η μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του στοιχείου που οξειδώνεται. Κατ' αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε:

συνολική μεταβολή Α.Ο. οξειδωτικού = συνολική μεταβολή Α.Ο. αναγωγικού

4. Αν η αντίδραση γίνεται σε όξινο περιβάλλον γράφουμε στα αντιδρώντα τον κατάλληλο αριθμό μορίων οξέος.

5. Ισοσταθμίζουμε τα άτομα υδρογόνου στα δύο μέλη της χημικής εξίσωσης, προσθέτοντας στο μέλος που χρειάζεται τον κατάλληλο αριθμό μορίων νερού.

Παραδείγματα οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων

1. Οξείδωση NH₃ από CuO

α. Βρίσκουμε από τους πίνακες οξειδωτικών και αναγωγικών τα προϊόντα, που είναι N₂ για την NH₃ και Cu για το CuO.



β. Υπολογίζουμε τη μεταβολή του αριθμού οξείδωσης για το στοιχείο που οξειδώνεται και για το στοιχείο που ανάγεται.

N: από - 3 → 0 μεταβολή 3

Cu: από + 2 → 0 μεταβολή 2

(απόλυτη τιμή)

γ. Παίρνουμε τόσα άτομα N όση είναι η μεταβολή του αριθμού οξειδωσης του Cu και τόσα άτομα Cu όση είναι η μεταβολή του αριθμού οξείδωσης του N. Δηλαδή,



Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται: συνολική μεταβολή A.O._N = συνολική μεταβολή A.O._{Cu}

Παρατήρηση: Αν οι μεταβολές των αριθμών οξείδωσης δεν είναι αριθμοί πρώτοι μεταξύ τους, τότε για να βρούμε τους συντελεστές των οξειδωτικών και αναγωγικών ουσιών διαιρούμε τις μεταβολές με το μέγιστο κοινό διαιρέτη τους. Με άλλα

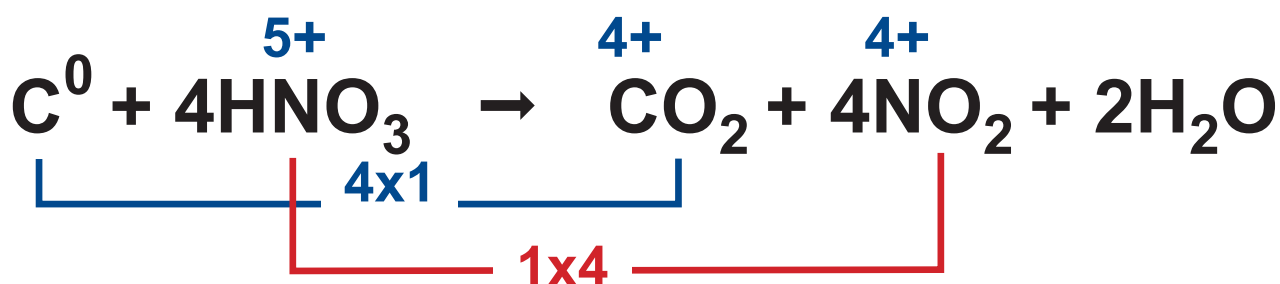
λόγια, αν οι μεταβολές σχηματίζουν κλάσμα που δέχεται απλοποίηση κάνουμε απλοποίηση και τους απλοποιημένους αριθμούς βάζουμε συντελεστές στη χημική εξίσωση.

δ. Ισοσταθμίζουμε τα άτομα του Η προσθέτοντας στο μέλος της αντίδρασης που χρειάζεται τον κατάλληλο αριθμό μορίων H_2O . Αν έχουμε εργαστεί σωστά τα άτομα του Ο θα πρέπει να είναι ισοσταθμισμένα, όπως φαίνεται στο παράδειγμα:

$$2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{Cu} + 3\text{H}_2\text{O}$$

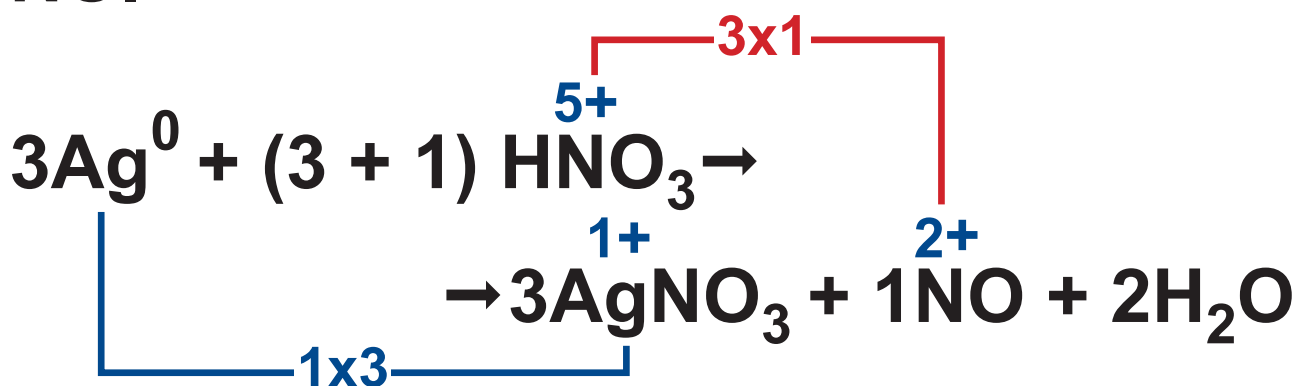
2. Οξείδωση C από πυκνό διάλυμα HNO_3

Ο C οξειδώνεται σε CO_2 και το πυκνό διάλυμα HNO_3 ανάγεται σε NO_2 .



3. Οξείδωση Ag από αραιό διάλυμα HNO_3

Ο Ag οξειδώνεται σε AgNO_3 και το αραιό διάλυμα HNO_3 ανάγεται σε NO .

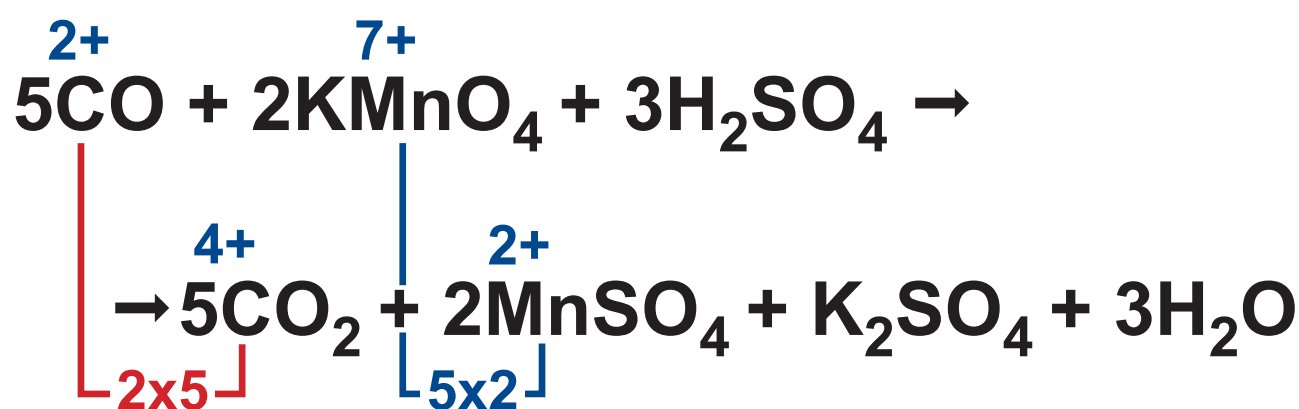


Για να σχηματιστούν τα 3 mol AgNO_3 χρειάζονται άλλα 3 mol HNO_3 (τα οποία δρουν ως οξύ). Δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση το HNO_3 έχει διπλό ρόλο, δρα ως οξειδωτικό και ως οξύ.

- Στην πραγματικότητα όταν επιδρά διάλυμα HNO_3 σε ένα στοιχείο σχηματίζεται μίγμα οξειδίων του αζώτου. Όσο αραιότερο είναι το διάλυμα τόσο περισσότερο NO εκλύεται και όσο πυκνότερο είναι το διάλυμα τόσο περισσότερο NO_2 ελευθερώνεται.

4. Οξείδωση CO από KMnO_4 παρουσία H_2SO_4

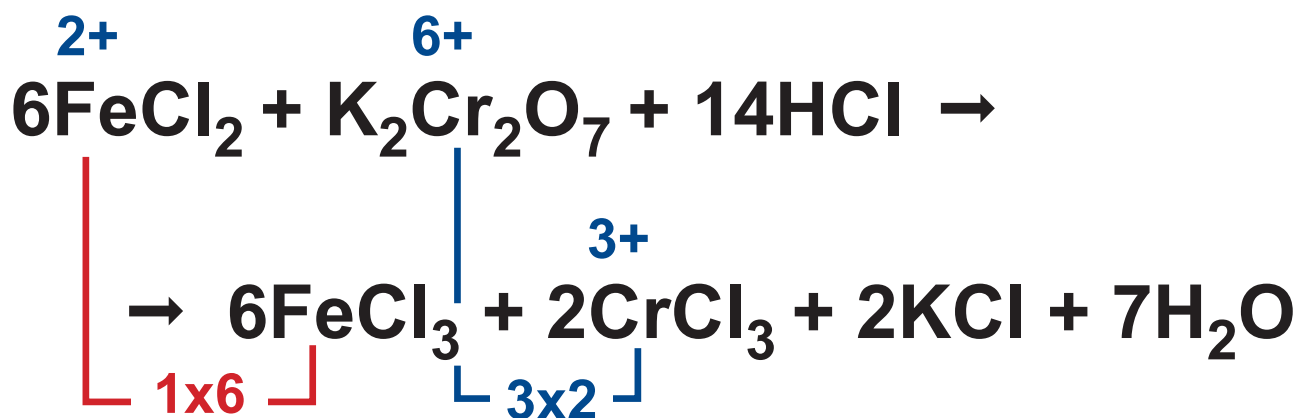
Το CO οξειδώνεται σε CO_2 και το Mn^{7+} ανάγεται σε Mn^{2+} δηλαδή σε $\text{Mn}^{2+}\text{SO}_4$, ενώ το K^+ δε συμμετέχει στην οξειδοαναγωγική δράση.



• Ορισμένα οξειδωτικά όπως, το KMnO_4 (υπερμαγγανικό κάλιο), το $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (διχρωμικό κάλιο) και MnO_2 απαιτούν όξινο περιβάλλον για την εκδήλωση του οξειδωτικού τους χαρακτήρα. Συνήθως ως οξύ στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται το H_2SO_4 .

5. Οξείδωση FeCl_2 από $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ παρουσία HCl

Ο FeCl_2 οξειδώνεται σε FeCl_3 και το Cr^{6+} του $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ανάγεται σε Cr^{3+} , δηλαδή σε CrCl_3 .



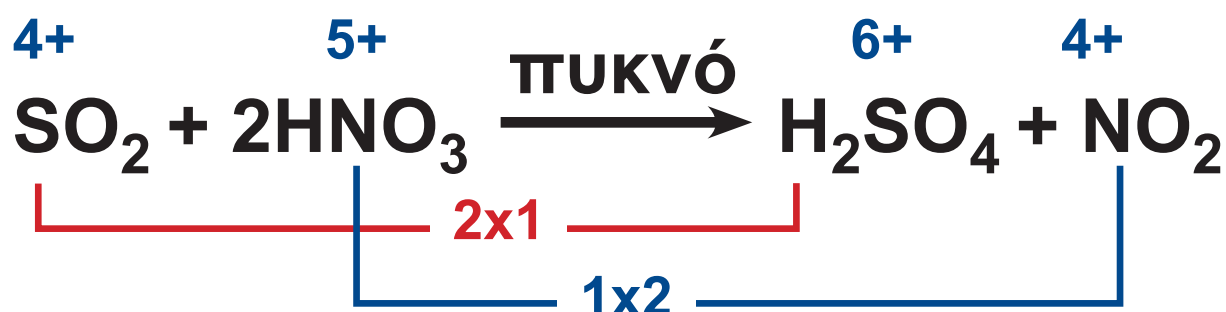
Υπολογίζουμε τη μεταβολή για το 1 άτομο Cr που είναι 3 και για το 1 άτομο Fe που είναι 1. Στη συνέχεια ο τύπος του $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ μας αναγκάζει να πάρουμε 2 άτομα Cr και αντίστοιχα 6 άτομα Fe. Για το σχηματισμό των χλωριούχων αλάτων χρειάζονται 26 ιόντα Cl^- . Απ' αυτά 12 Cl^- προέρχονται από το FeCl_2 και 14 από το HCl .

• Οι αντιδράσεις με KMnO_4 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ανιχνεύσεις, καθώς το χρώμα του όξινου διαλύματος KMnO_4 είναι ερυθροϊώδες και μετατρέπεται σε άχρωμο (ιόντα Mn^{2+}). Αντίστοιχα, το όξινο διάλυμα $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ έχει πορτοκαλί χρώμα και μετατρέπεται σε πράσινο (ιόντα Cr^{3+}).

6. Οξείδωση SO_2 από πυκνό διάλυμα HNO_3

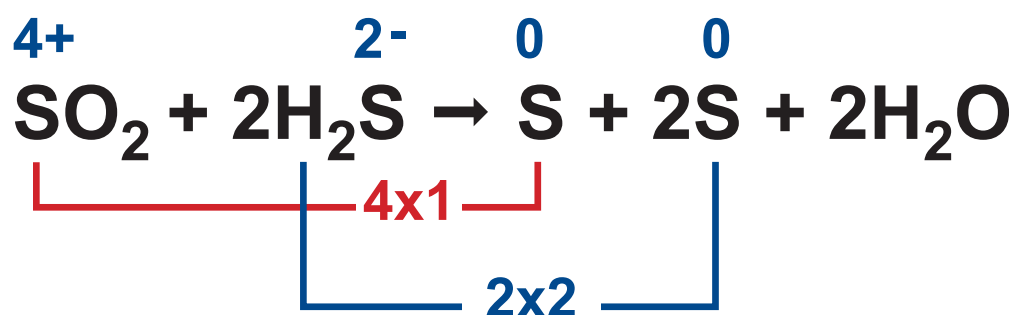
Το SO_2 ανάλογα με το περιβάλλον μπορεί να δράσει ως αναγωγικό παρουσία οξειδωτικού και να δώσει H_2SO_4 ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$) ή ως οξειδωτικό παρουσία αναγωγικού και να δώσει S ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{S}^0$),

Στην προκειμένη περίπτωση η παρουσία του HNO_3 (ισχυρό οξειδωτικό) προκαλεί την αναγωγική δράση του H_2SO_4 .

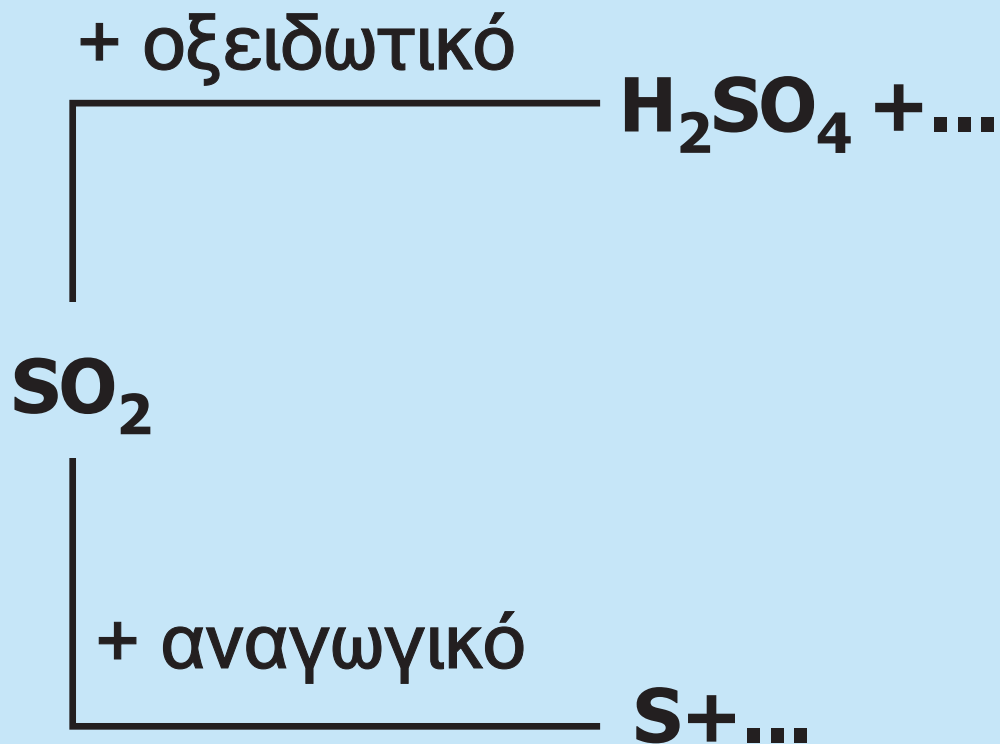


7. Οξείδωση H_2S από SO_2

Το H_2S δρα ως αναγωγικό και το SO_2 ως οξειδωτικό. Δηλαδή έχουμε:



- Οξειδωτική - αναγωγική δράση SO_2



8. Οξείδωση H_2O_2 από KMnO_4 παρουσία H_2SO_4

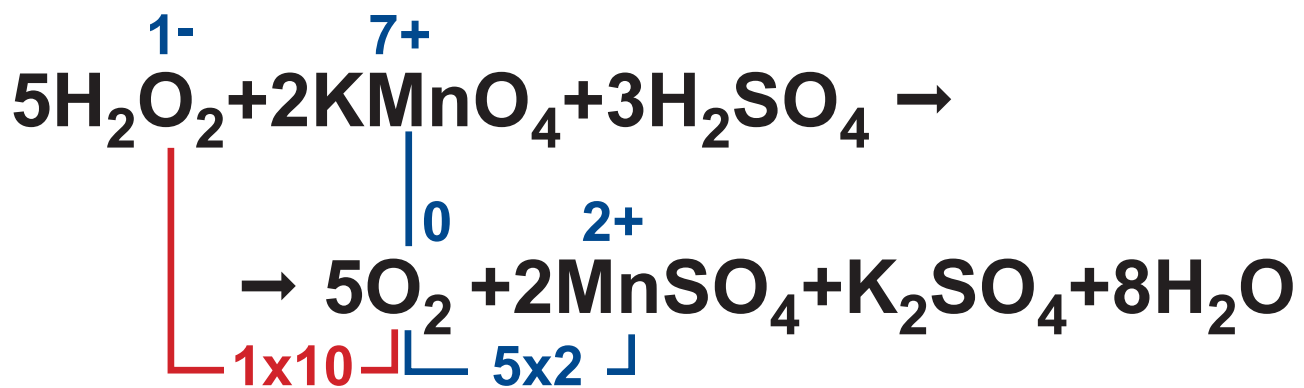
Το H_2O_2 παρουσία οξειδωτικού δρα ως αναγωγικό, οπότε το οξυγόνο του οξειδώνεται $\text{H}_2\text{O}_2^{1-} \rightarrow \text{O}_2^0 + \dots$

Αντίθετα, παρουσία αναγωγικού το H_2O_2 δρα ως οξειδωτικό και το

οξυγόνο του ανάγεται



Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το KMnO_4 ως οξειδωτικό προκαλεί την αναγωγική δράση του H_2O_2 . Δηλαδή,

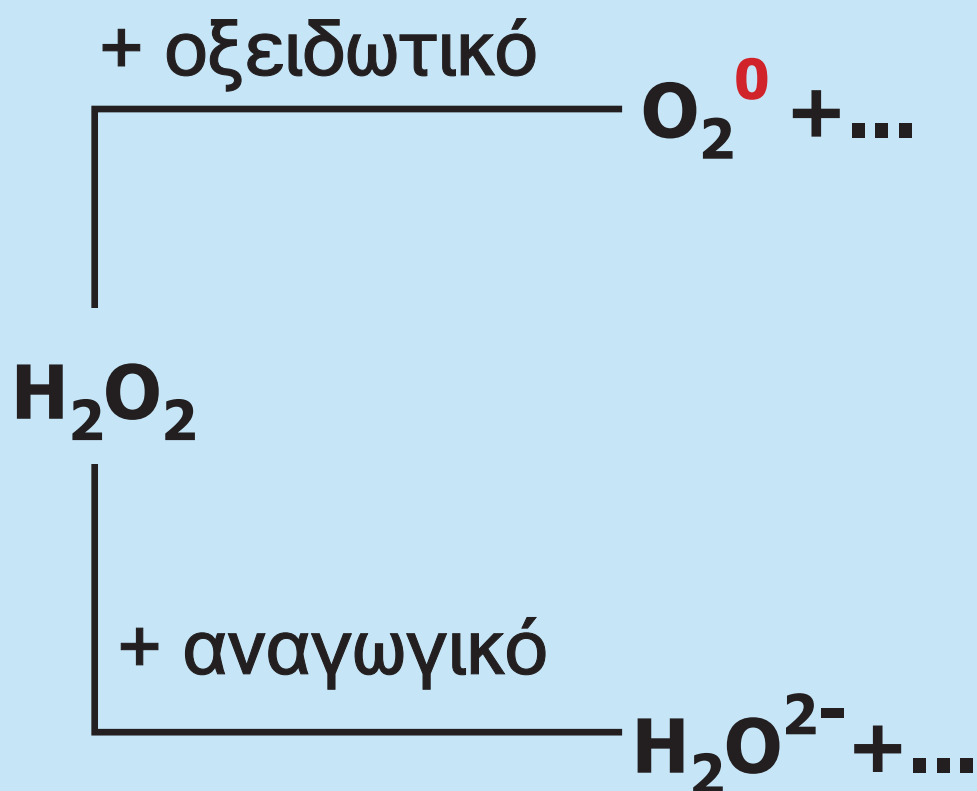


Γενική παρατήρηση

Να παρατηρήσουμε ότι με τη βοήθεια των κανονικών δυναμικών οξείδωσης - αναγωγής (E°) μπορεί κανείς να αναγνωρίσει σε μια οξειδοαναγωγική αντίδραση ποιο σώμα είναι οξειδωτικό και

ποιο αναγωγικό. Έτσι, μπορεί να δοθεί τέλος στην ανάγκη απομνημόνευσης των οξειδωτικών και αναγωγικών ουσιών, που δίνονται στους πίνακες 1.3 και που επί του παρόντος αποτελούν τη βάση για τη συμπλήρωση των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής.

- Οξειδωτική - αναγωγική δράση H_2O_2



Παράδειγμα 1.2

Διαθέτουμε δύο μεταλλικά δοχεία το ένα είναι από χαλκό και το άλλο από αλουμίνιο (αργίλιο). Σε ποιο από τα δύο δοχεία θα αποθηκεύατε διάλυμα FeSO_4 και σε ποιο διάλυμα $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η αποθήκευση διαλύματος FeSO_4 στο αλουμινένιο δοχείο προκαλεί την αντίδραση:



Αυτό συμβαίνει επειδή το Al είναι πιο δραστικό από το Fe (θυμηθείτε τη σειρά ηλεκτροθετικότητας).

Αντίθετα, αν αποθηκεύσουμε το FeSO_4 στο χάλκινο δοχείο καμιά χημική αντίδραση δε λαμβάνει χώρα,

καθώς ο Cu είναι λιγότερο δραστικός από το Fe. Επίσης το διάλυμα του $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ μπορεί να αποθηκευθεί σε οποιοδήποτε δοχείο άφοβα, αφού τόσο το Al όσο και ο Cu είναι λιγότερο δραστικά από το Mg. Συνεπώς, το διάλυμα του FeSO_4 προτείνεται να αποθηκευτεί στο χάλκινο δοχείο και το διάλυμα του $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ στο αλουμινένιο δοχείο.

Εφαρμογή

Σε ποιο δοχείο θα επιλέγατε να αποθηκεύσετε διάλυμα ZnCl_2 σε σιδερένιο ή αλουμινίου;

Παράδειγμα 1.3

Πόσα λίτρα Cl_2 σε STP συνθήκες εκλύονται κατά την αναγωγή 17,4 g MnO_2 με περίσσεια διαλύματος HCl ;

ΛΥΣΗ

Με βάση τη χημική εξίσωση έχουμε:



1 mol

1 mol ή

87 g

22,4 L

17,4 g

x;

Συνεπώς, $x = 4,48 \text{ L Cl}_2$ σε STP.

Εφαρμογή

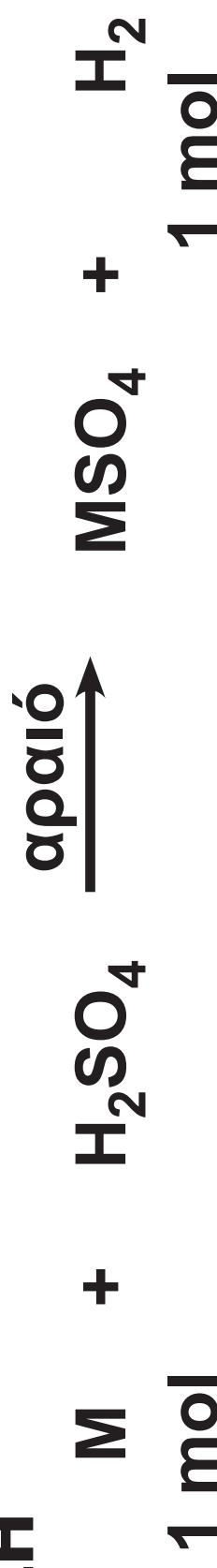
Πόσα λίτρα SO_2 σε STP συνθήκες ελευθερώνονται κατά την αντίδραση 6,35 g Cu με περίσσεια πυκνού διαλύματος H_2SO_4 ;

2,24 L

Παράδειγμα 1.4

1,3 g μετάλλου (M) που είναι δραστικότερο από το H₂ και εμφανίζεται στις ενώσεις του με αριθμό οξείδωσης +2, διαλύεται σε περίσσεια αραιού διαλύματος H₂SO₄, οπότε ελευθερώνονται 448 mL H₂ σε STP. Ποια είναι η σχετική ατομική μάζα, A_r, του M;

ΛΥΣΗ



1 mol

1 mol

$$\text{ή } \frac{A_r \text{ g}}{1,3 \text{ g}} = \frac{22400 \text{ mL}}{448 \text{ mL}}$$

$$\text{ή } A_r = 65.$$

Εφαρμογή

5,6 g σιδήρου προστίθενται σε περίσσεια διαλύματος HCl, οπότε ελευθερώνονται 2,24 L H₂ σε STP. Ποια είναι η σχετική ατομική μάζα του σιδήρου; Να σημειωθεί ότι στις αντιδράσεις απλής αντικατάστασης το μέταλλο παίρνει συνήθως το μικρότερο αριθμό οξείδωσης.



[1.3]

Ηλεκτροχημεία

Αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος Ηλεκτρόλυση - Μηχανισμός - Εφαρμογές

Ηλεκτροχημεία

Στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων από το αναγωγικό στο οξειδωτικό σώμα. Όταν το αναγωγικό και το οξειδωτικό είναι σε άμεση επαφή (π.χ. σ' ένα διάλυμα) τότε έχουμε μια κλασική οξειδοαναγωγική χημική αντίδραση. Αν όμως τα δύο αυτά σώματα δε βρίσκονται σε άμεση επαφή αλλά τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το αναγωγικό στο οξειδωτικό σώμα μέσω μιας τρίτης ουσίας,

όπως είναι ένας μεταλλικός αγωγός, τότε μιλάμε για μια ηλεκτροχημική αντίδραση. Ο δε κλάδος της χημείας που μελετά τις αντιδράσεις αυτές ονομάζεται ηλεκτροχημεία. Η ηλεκτροχημεία είναι ένας πολύ δυναμικός κλάδος της χημείας με πολλές εφαρμογές, που περιλαμβάνει δύο ενότητες:

1. Ηλεκτρόλυση

Κατά την ηλεκτρόλυση με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος προκαλείται μια οξειδοαναγωγική αντίδραση, που δε θα μπορούσε από μόνη της να πραγματοποιηθεί. Κατ' αυτό τον τρόπο μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε χημική, η δε αντίστοιχη διάταξη ονομάζεται ηλεκτρολυτικό στοιχείο. Η ηλεκτρόλυση βρίσκει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία, όπως για την παραγωγή πολλών

ουσιών π.χ. Na, Ca, Al, Cl₂, NaOH, στην επιμετάλλωση, δηλαδή την κάλυψη της επιφάνειας «αγενέστερων» μετάλλων (π.χ. Fe, Zn) από «ευγενέστερα» (π.χ. Au, Ag) κλπ.

2. Γαλβανικά στοιχεία (μπαταρίες)

Τα γαλβανικά στοιχεία είναι διάταξεις στις οποίες μετατρέπεται η χημική ενέργεια, που ελευθερώνεται από μια αυθόρμητη αντίδραση οξειδοαναγωγής, σε ηλεκτρική. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω χημικών αντιδράσεων (μπαταρίες), εξελίσσεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια. Ήδη, πέρα από τις γνωστές εφαρμογές, κατασκευάζονται μπαταρίες που κινούν αυτοκίνητα (ηλεκτρικό αυτοκίνητο), ώστε να μειωθεί η μόλυνση από την καύση της βενζίνης και ο θόρυβος από

τις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος

Οι αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος είναι δύο ειδών:

1. Οι μεταλλικοί αγωγοί είναι μέταλλα ή κράματα που οφείλουν την αγωγιμότητά τους στα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

2. Οι ηλεκτρολυτικοί αγωγοί είναι τήγματα ιοντικών ενώσεων (π.χ. αλάτων και υδροξειδίων μετάλλων) ή υδατικά διαλύματα που περιέχουν ιόντα (π.χ. οξέων, βάσεων και αλάτων). Η ηλεκτρολυτική αγωγή οφείλεται στη κίνηση ιόντων και ολοκληρώνεται, όπως θα δούμε μέσω αντιδράσεων οξειδοαναγωγής.

- Διαφορές μεταλλικών και ηλεκτρολυτικών αγωγών:
 - α. η διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του ηλεκτρολύτη προκαλεί διάσπαση (ηλεκτρόλυση), ενώ μέσω του μεταλλικού αγωγού προκαλεί μόνο θερμικές μεταβολές.
 - β. με την αύξηση της θερμοκρασίας η αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη αυξάνεται, ενώ του μεταλλικού αγωγού μειώνεται.

Ηλεκτρόλυση

Ηλεκτρόλυση είναι η ηλεκτροχημική διεργασία κατά την οποία πραγματοποιούνται οξειδοαναγωγικές χημικές αντιδράσεις με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα απλό πείραμα, που θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε τι είναι

ηλεκτρόλυση, περιγράφεται στο σχήμα 1.1. Μια ποσότητα NaCl θερμαίνεται και διατηρείται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το σημείο τήξης του NaCl, ώστε να μείνει σε υγρή κατάσταση. Δύο αδρανή ηλεκτρόδια εισάγονται στο τήγμα και μια πηγή συνεχούς ρεύματος συνδέεται με τα ηλεκτρόδια. Με την εφαρμογή κατάλληλης διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.

Στην **κάθοδο** (αρνητικό ηλεκτρόδιο), όπου υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων οδεύουν λόγω έλξης τα κατιόντα Na^+ . Φθάνοντας εκεί προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια (αναγωγή) και μεταπίπτουν σε ουδέτερα άτομα:



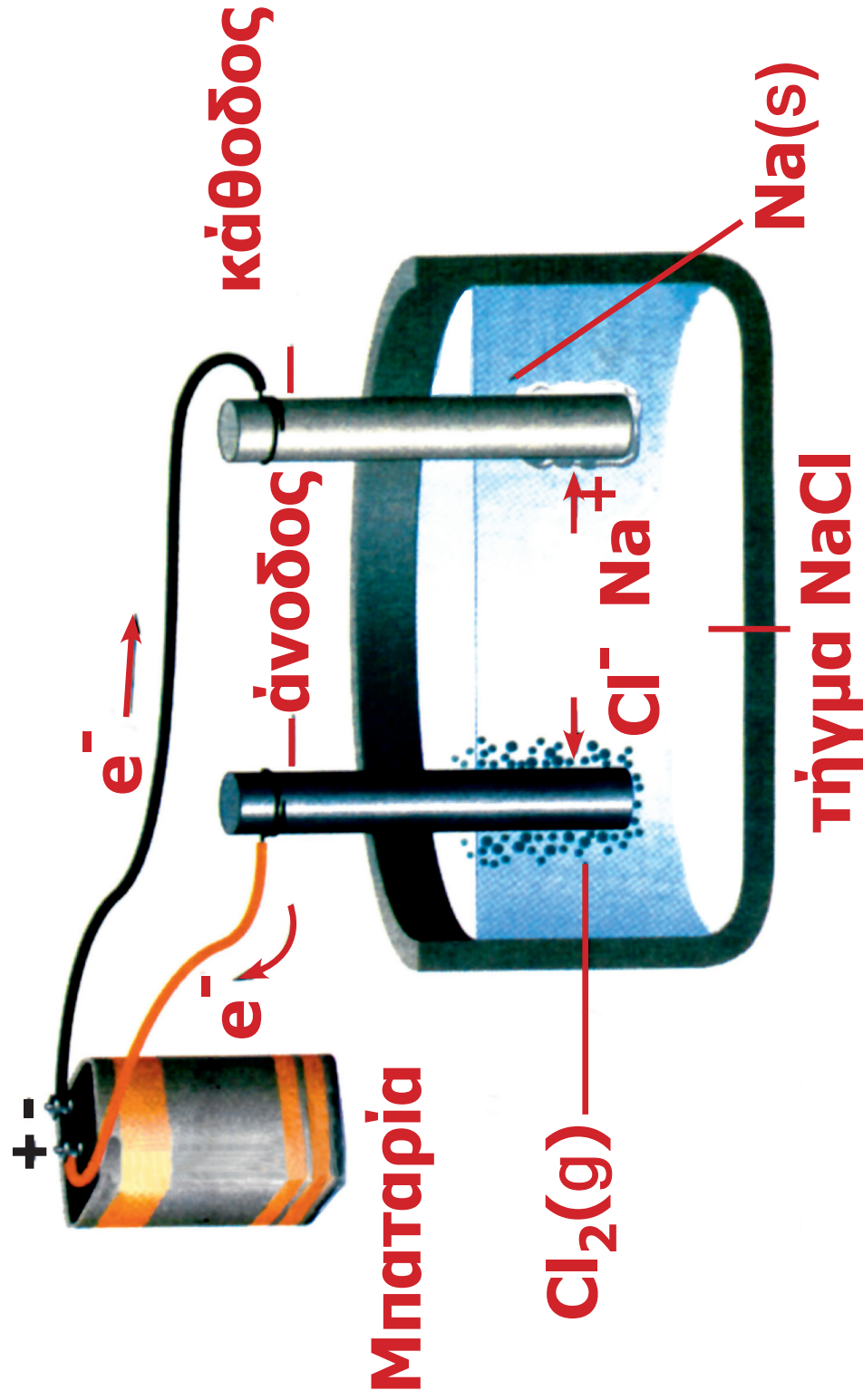
Στην άνοδο (θετικό ηλεκτρόδιο), όπου υπάρχει έλλειψη ηλεκτρονίων οδεύουν τα ανιόντα Cl^- . Εκεί, αποβάλλουν ηλεκτρόνια (οξειδωση) οπότε μεταπίπτουν σε ουδέτερα ασταθή άτομα και στη συνέχεια συνδέονται ανά δύο σχηματίζοντας μόρια χλωρίου:



- Ηλεκτρόλυση: προέρχεται από τις Ελληνικές λέξεις, λύω (ελευθερώνω) και ηλεκτρισμός.
- Το αδρανές ηλεκτρόδιο δρα απλά ως φορέας ρεύματος, χωρίς να συμμετέχει σε κάποια οξειδοαναγωγική αντίδραση. Συνήθως ως αδρανή ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται ο λευκόχρυσος και ο γραφίτης.



Πειραματική διάταξη ενός ηλεκτρολυτικού στοιχείου.



ΣΧΗΜΑ 1.1 Διαγραμματική απεικόνιση ηλεκτρόλυσης τήγαματος NaCl . Στην κάθοδο γίνεται αναγωγή και σχηματίζεται νάτριο. Στην άνοδο γίνεται οξείδωση και ελευθερώνεται χλώριο.

Θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι μέσω του ηλεκτρολύτη δε ρέουν ηλεκτρόνια. Αυτά παράγονται από την πηγή του συνεχούς ρεύματος, φτάνουν από τον εξωτερικό αγωγό στην κάθοδο και εκεί καταναλώνονται σε μια αναγωγική αντίδραση. Άλλα ηλεκτρόνια γεννιούνται στην άνοδο από μια οξειδωτική δράση και απομακρύνονται μέσω αυτής προς την πηγή. Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι

- ηλεκτρόλυση είναι το σύνολο των αντιδράσεων οξείδωσης και αναγωγής που λαμβάνουν χώρα όταν σε ένα τήγμα ή διάλυμα ηλεκτρολύτη (ηλεκτρολυτικό αγωγό) εφαρμόσουμε κατάλληλη διαφορά δυναμικού.

Η συσκευή που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί ηλεκτρόλυση ονομάζεται **ηλεκτρολυτικό στοιχείο** ή **βολτάμετρο** (δοχείο, ηλεκτρόδια, πηγή ρεύματος).

Μηχανισμός ηλεκτρόλυσης

Τα προϊόντα ηλεκτρόλυσης τήγματος ιοντικής ένωσης είναι προφανή π.χ. κατά την ηλεκτρόλυση τήγματος βρωμιούχου μαγνησίου έχουμε:

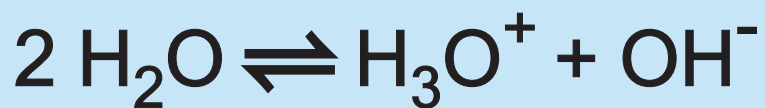
κάθοδος (-): $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Mg}$ (αναγωγή)

άνοδος (+): $2\text{Br}^{-} - 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Br}_2$ (οξείδωση)

Στην περίπτωση όμως ηλεκτρόλυσης υδατικού διαλύματος ηλεκτρολύτη τα πράγματα περιπλέκονται. Δηλαδή, οι αντιδράσεις που γίνονται στην κάθοδο ή στην άνοδο

δεν είναι πλέον προφανείς, καθώς στο διάλυμα εκτός από τα ιόντα του ηλεκτρολύτη υπάρχουν και μόρια νερού και τα προϊόντα ιοντισμού αυτού H_3O^+ και OH^- . Οι ουσίες αυτές μπορούν να πάρουν μέρος στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους. Και δε φτάνει μόνο αυτό. Είναι δυνατόν το ένα ή και τα δύο ηλεκτρόδια να προκαλέσουν δευτερεύουσες αντιδράσεις, είτε με τα προϊόντα της ηλεκτρόλυσης, είτε με το διάλυμα. Για να αποφευχθούν οι αντιδράσεις των ηλεκτροδίων χρησιμοποιούμε συχνά αδρανή ηλεκτρόδια π.χ. από λευκόχρυσο (Pt).

- Ιοντισμός νερού:

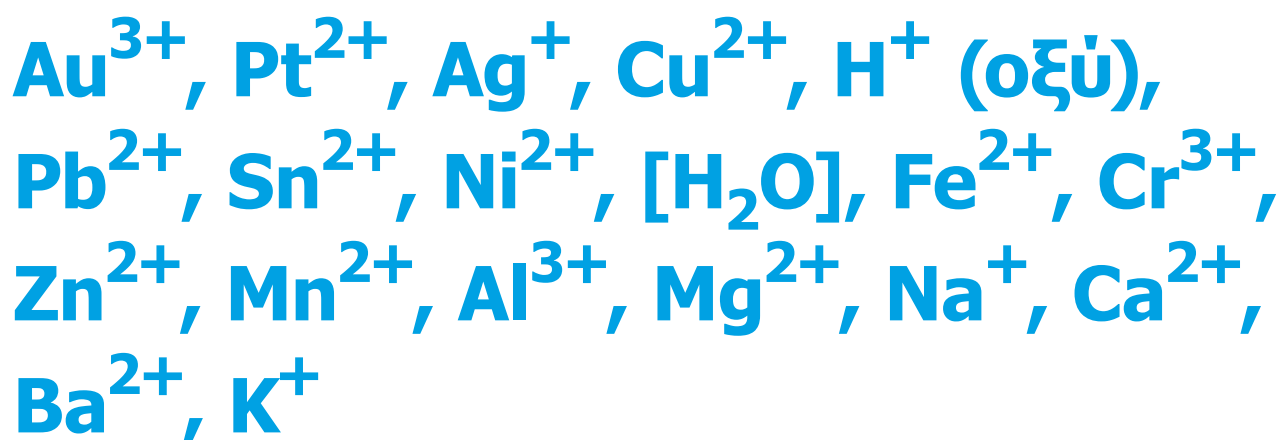


- Δυναμικό ηλεκτροδίου ιόντος μπορεί να οριστεί ως η ελάχιστη διαφορά δυναμικού που πρέπει να εφαρμοστεί στο ηλεκτρολυτικό στοιχείο, ώστε να εκφορτιστεί το ιόν.

Η πρόβλεψη των αντιδράσεων που γίνονται στα δύο ηλεκτρόδια μπορεί να γίνει με βάση τις τιμές των κανονικών δυναμικών ηλεκτροδίου, E° , των διάφορων ουσιών στο διάλυμα. Το δυναμικό του ηλεκτροδίου αποτελεί μέτρο της ευκολίας οξειδωσης ή αναγωγής μιας ουσίας και συνεπώς συσχετίζεται

με την ευκολία εκφόρτισης των ιόντων στο διάλυμα. Την έννοια όμως του κανονικού δυναμικού θα θίξουμε σε επόμενο κεφάλαιο, γι' αυτό επί του παρόντος θα αρκεστούμε στην καταγραφή μιας σειράς εκφόρτισης κατιόντων και ανιόντων, με βάση την οποία θα μπορούμε να προβλέπουμε τα προϊόντα ηλεκτρόλυσης. Να σημειωθεί ότι η σειρά αυτή ισχύει με την προϋπόθεση ότι τα ιόντα έχουν παραπλήσιες συγκεντρώσεις στον ηλεκτρολυτικό αγωγό και ότι τα ηλεκτρόδια είναι αδρανή.

1. Στην κάθοδο η σειρά εκφορτίσεως για τα συνήθη κατιόντα είναι:



Για παράδειγμα κατά την ηλεκτρόλυση υδατικού διαλύματος AgNO_3 , στην κάθοδο εκφορτίζεται εκλεκτικά το Ag^+ έναντι του ιόντος H^+ . Δηλαδή έχουμε: $2\text{Ag}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Ag}$ και όχι $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$.

Ομοίως, αν ηλεκτρολυθεί διάλυμα NaCl , στην κάθοδο σχηματίζεται H_2 και όχι Na .

2. Στην άνοδο η σειρά εκφορτίσεως για τα συνήθη ανιόντα είναι:

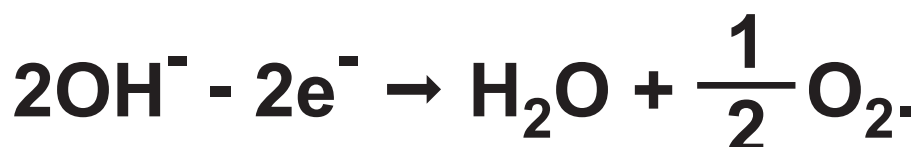
S^{2-} , OH^- (βάση), I^- , $[\text{H}_2\text{O}]$, Br^- , Cl^- ,
οξυγονούχα ιόντα, F^-

Δηλαδή αν ηλεκτρολυθεί υδατικό διάλυμα NaCl , στην άνοδο έχουμε:

$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ και όχι

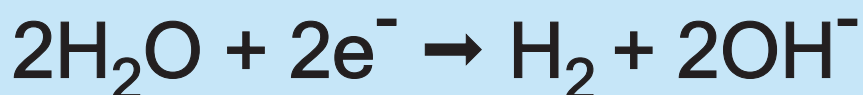
$2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$

Αν ηλεκτρολυθεί διάλυμα Na_2SO_4 στην άνοδο έχουμε έκλυση O_2 , που οφείλεται στην αντίδραση:

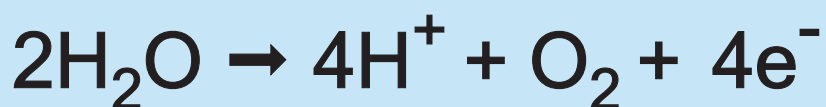


- Να παρατηρήσουμε ότι η σειρά εκφόρτισης των κατιόντων και ανιόντων είναι η αντίστροφη της σειράς δραστηριότητας των μετάλλων και αμετάλλων, αντίστοιχα.
- Οι κυριότερες εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης είναι:
 1. παρασκευές
 - α. μετάλλων π.χ. Na
 - β. αμετάλλων π.χ. Cl_2
 - γ. ενώσεων π.χ. NaOH
 2. καθαρισμός μετάλλων
 3. επιμετάλλωση.

- Ο σχηματισμός H_2 κατά την ηλεκτρόλυση υδατικού διαλύματος $NaCl$ οφείλεται στην αντίδραση:



- Ο σχηματισμός O_2 κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος $AgNO_3$ οφείλεται στην αντίδραση:



Για την εμπέδωση των παραπάνω δίνεται σειρά παραδειγμάτων.

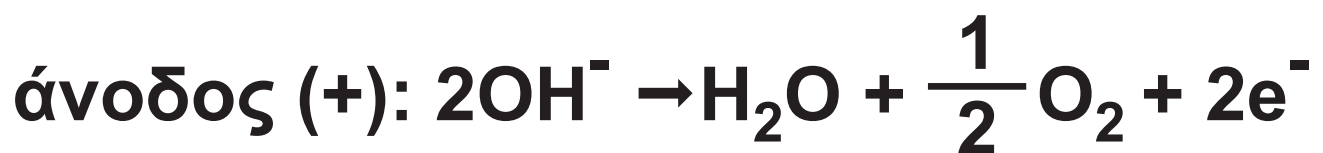
Παραδείγματα ηλεκτρολύσεων - Εφαρμογές

α. Ηλεκτρόλυση διαλύματος H_2SO_4 (με ηλεκτρόδια Pt)

Η σύσταση του ηλεκτρολυτικού

αγωγού είναι: H^+ , OH^- , SO_4^{2-} , H_2O .

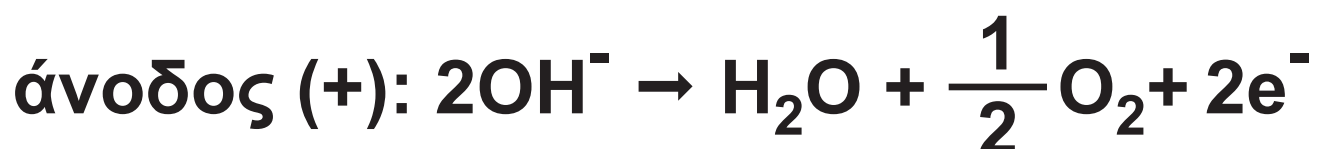
Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:



β. Ηλεκτρόλυση διαλύματος ΚΟΗ (με ηλεκτρόδια Pt)

Η σύσταση του ηλεκτρολυτικού αγωγού είναι: K^+ , OH^- , H^+ , H_2O .

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που διεξάγονται είναι:



γ. Ηλεκτρόλυση διαλύματος NaCl (με ηλεκτρόδια C)

Σύσταση ηλεκτρολυτικού αγωγού:
 Na^+ , Cl^- , H^+ , OH^- , H_2O .

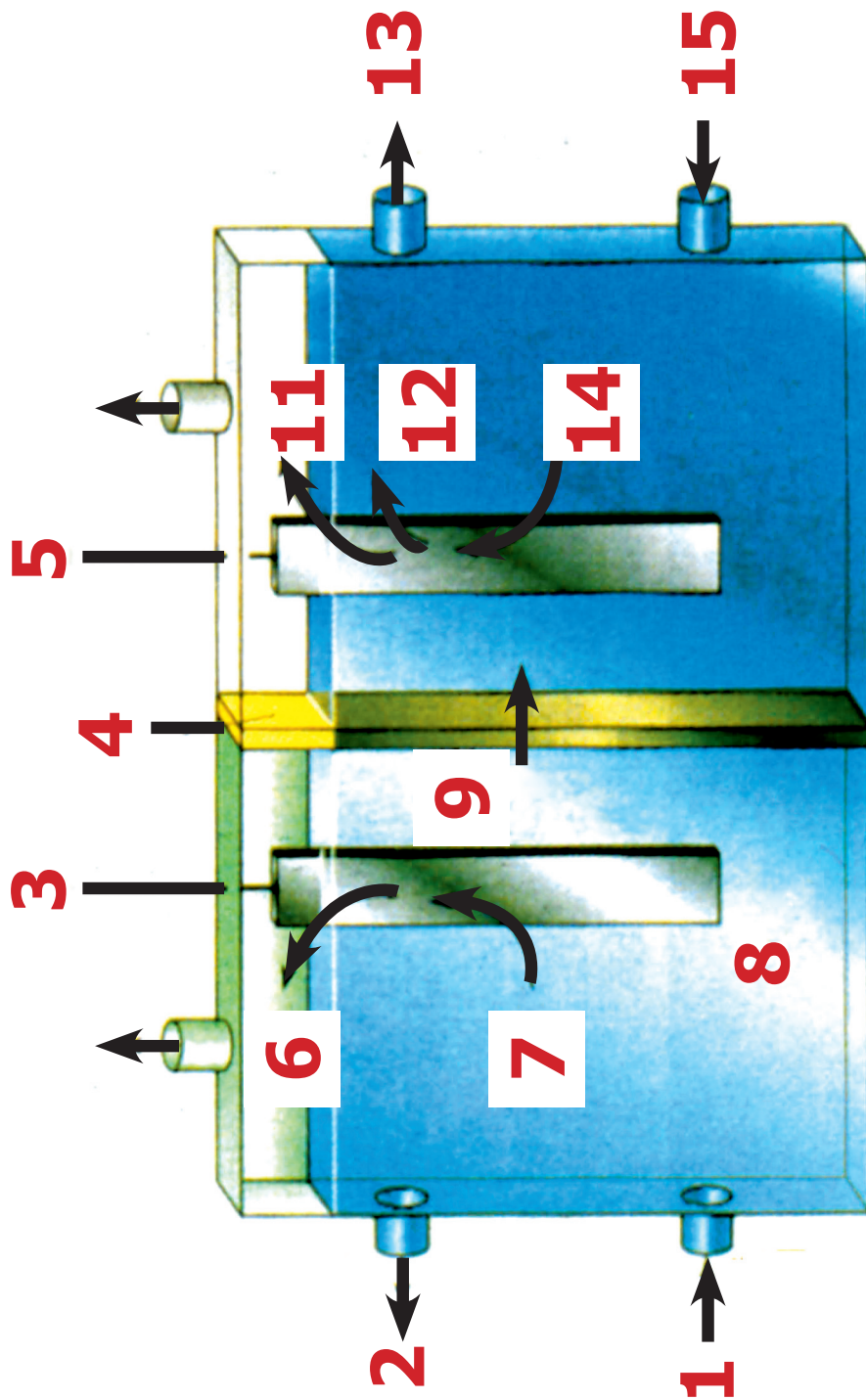
Ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:

κάθοδος (-): $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ ή

ορθότερα $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

άνοδος (+): $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

Η μέθοδος αυτή αξιοποιείται για τη βιομηχανική παρασκευή του NaOH και Cl_2 (βλέπε σχήμα 1.2).



1. πυκνό NaOH **2.** αραιό NaOH **3.** άνοδος+

- 4.** διάφραγμα ημιπερατό από ιόντα **5.** κάθοδος -
6. Cl_2 **7.** Cl^- **8.** H_2O **9.** Na^+ **10.** H_2O **11.** H_2
12. OH^- **13.** $\text{NaOH}(\text{aq})$ **14.** H_2O **15.** $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

ΣΧΗΜΑ 1.2. Διαγραμματική απεικόνιση της ηλεκτρόλυσης υδατικού διαλύματος χλωριούχου νατρίου για την παραγωγή καυστικού νατρίου και χλωρίου.

δ. Ηλεκτρόλυση διαλύματος CuSO_4 (με ηλεκτρόδια Pt)

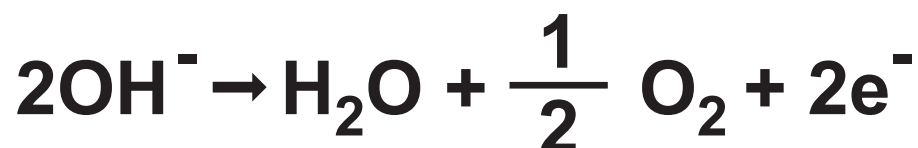
Σύσταση ηλεκτρολυτικού αγωγού:



Ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα:



άνοδος (+):



ε. Ηλεκτρόλυση διαλύματος CuSO_4 (με ηλεκτρόδια Cu)

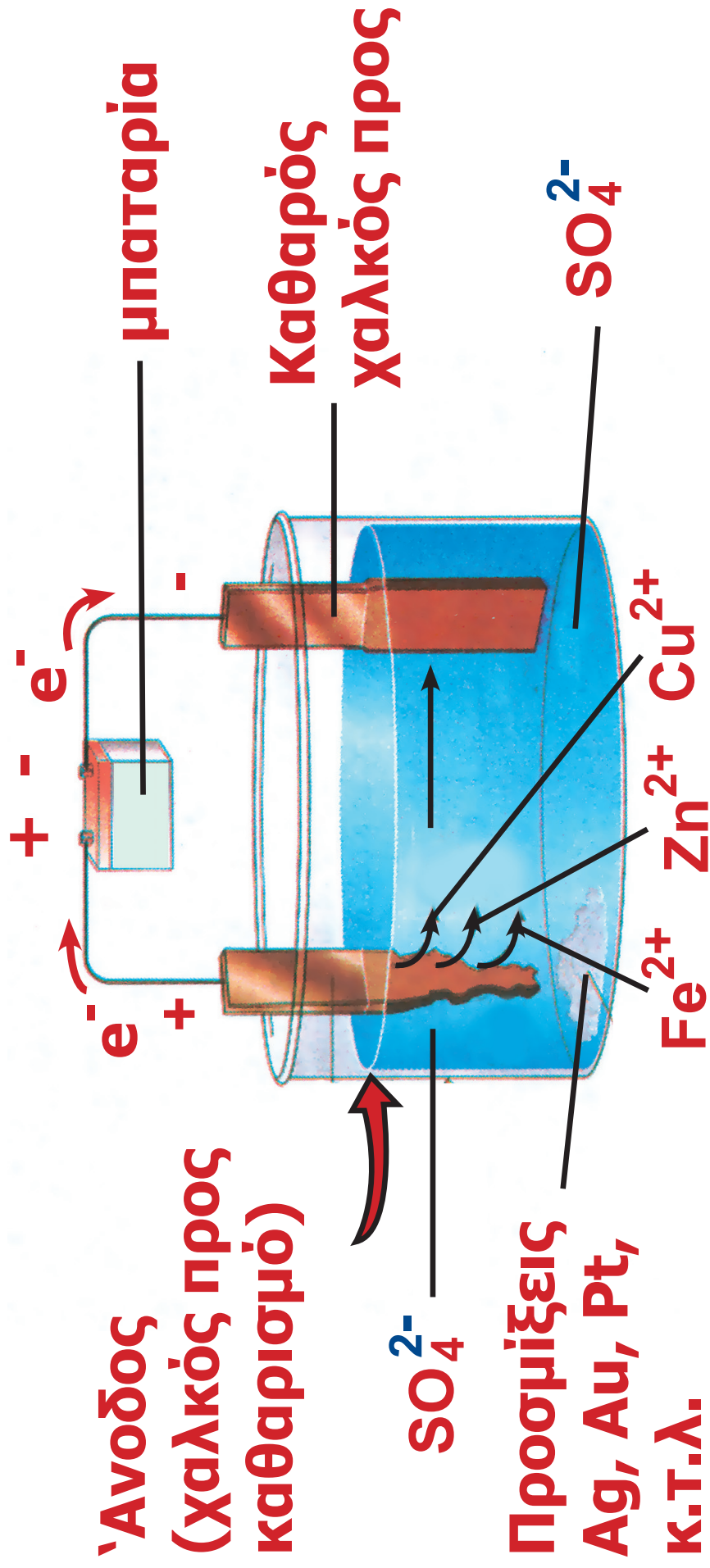
Σύσταση ηλεκτρολυτικού αγωγού:



Αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα:

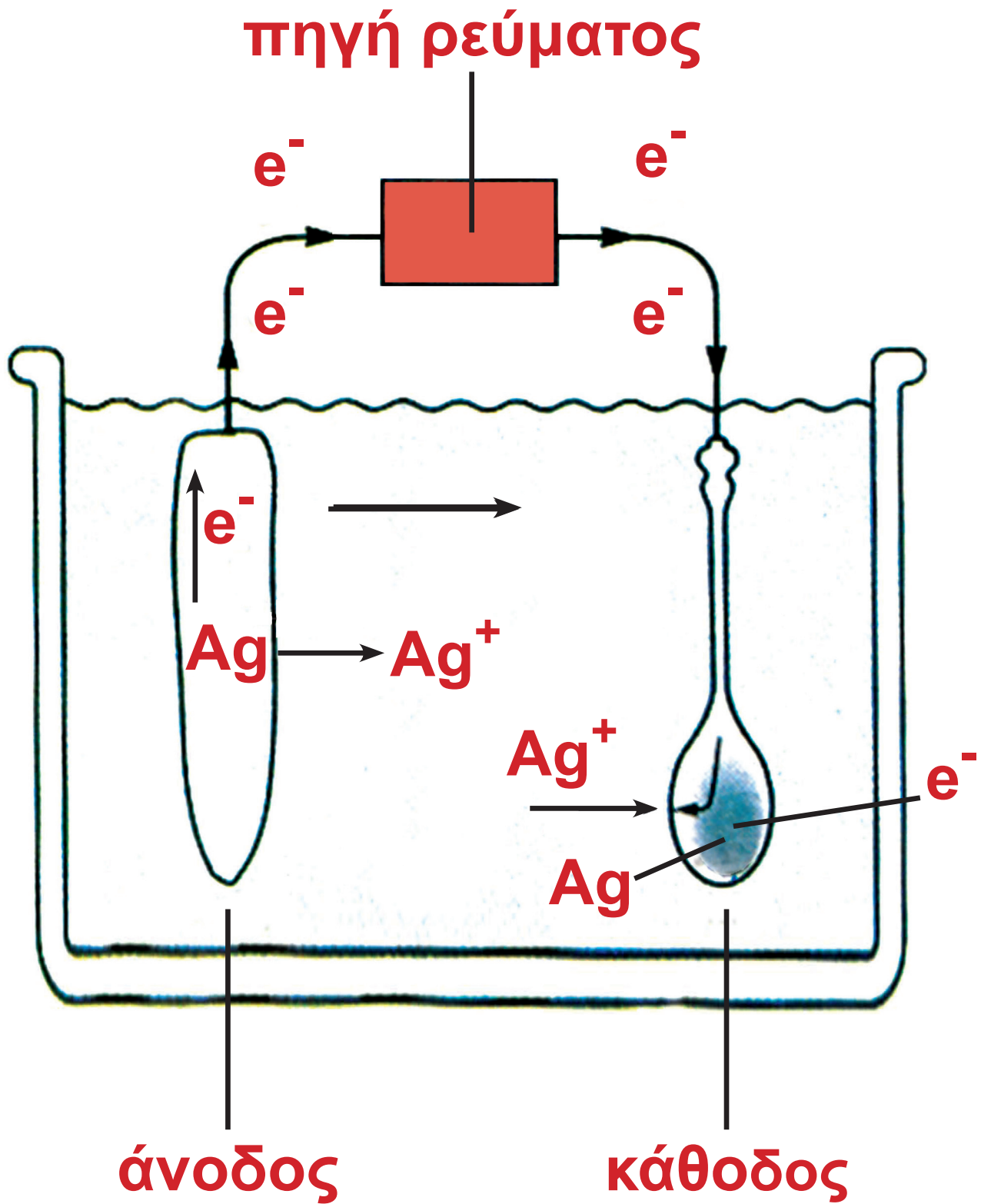


Κατ' αυτό τον τρόπο γίνεται μεταφορά μετάλλου από την κάθοδο στην άνοδο. Η τελευταία ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό μετάλλων, όπως διαγραμματικά απεικονίζεται στο σχήμα 1.3.



ΣΧΗΜΑ 1.3 Καθαρισμός Cu με ηλεκτρόλυση. Τα δραστικά μέταλλα (προσμίξεις) όπως π.χ. Zn παραμένουν στο διάλυμα, ενώ τα λιγότερο ηλεκτροθετικά μέταλλα π.χ. Au καταβυθίζονται.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης είναι η επιμετάλλωση. Στη βιομηχανία μεταλλικών αντικείμενων (μαχαιροπήρουνα, διακοσμητικά, αυτοκίνητα κλπ.) ένα αντικείμενο φτιαγμένο από ένα μέταλλο ή κράμα συχνά επικαλύπτεται από ένα στρώμα άλλου «ευγενέστερου» μετάλλου, είτε για προστασία, είτε για διακόσμηση. Μια από τις συνηθέστερες μεθόδους επιμετάλλωσης είναι η ηλεκτρόλυση. Το αντικείμενο που πρόκειται να επιμεταλλωθεί γίνεται κάθοδος και μια ποσότητα από το μέταλλο γίνεται άνοδος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Τα ηλεκτρόδια εμβαπτίζονται σε διάλυμα άλατος του ευγενούς μετάλλου και συνδέονται με την πηγή συνεχούς ρεύματος.



**ΣΧΗΜΑ 1.4. Επαργύρωση
κουταλιού με ηλεκτρόλυση.**

[1.4]

Νόμος ηλεκτρόλυσης

Νόμοι Faraday - Υπολογισμοί

Η πειραματική μελέτη του φαινομένου της ηλεκτρόλυσης οδήγησε τον Faraday (1833) στον προσδιορισμό σχέσεων μεταξύ των μαζών που ελευθερώνονται (προϊόντα ηλεκτρόλυσης) και της ποσότητας ηλεκτρισμού που διέρχεται από τον ηλεκτρολυτικό αγωγό. Οι ποσοτικές αυτές σχέσεις περιγράφονται από τους ακόλουθους δύο νόμους:

Πρώτος νόμος. Η μάζα της ουσίας που αποτίθεται σε κάθε ηλεκτρόδιο είναι ανάλογη της ποσότητας του ηλεκτρισμού (ηλεκτρικού φορτίου) που διέρχεται από τον ηλεκτρολυτικό αγωγό.

Δεύτερος νόμος. Οι μάζες των διαφορετικών ιόντων που αποτίθενται στα ηλεκτρόδια κατά τη δίοδο της ίδιας ποσότητας ηλεκτρισμού (ηλεκτρικού φορτίου) είναι χημικά ισοδύναμες, είναι δηλαδή ανάλογες προς τα γραμμοϊσοδύναμα (g-eq) αυτών.

Ένα γραμμοϊσοδύναμο (g-eq) ιόντος ισούται με το πηλίκο του mol αυτού δια του αριθμού των στοιχειωδών φορτίων αυτού. Δηλαδή, για ένα ιόν της μορφής M^{n+} έχουμε:

$$1 \text{ g-eq} = 1 \text{ mol}/n$$

Σήμερα για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των ουσιών που ελευθερώνονται στην κάθοδο και στην άνοδο δε χρειάζεται να χρησιμοποιούμε τους νόμους του Faraday. Εξ' άλλου τα τελευταία χρόνια οι εκφράσεις γραμμοϊσοδύναμο (g-eq)

τείνουν να εξαλειφθούν από τη διεθνή βιβλιογραφία.

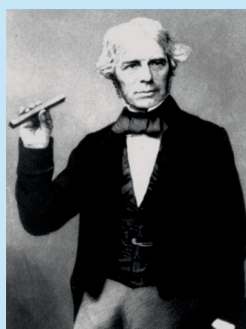
Ο υπολογισμός των ηλεκτρολυόμενων μαζών μπορεί εύκολα να γίνει με βάση τη στοιχειομετρία των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την ηλεκτρόλυση.

Για τους υπολογισμούς αυτούς θα πρέπει επίσης να γνωρίζουμε ότι,

- N_A ($6,02 \cdot 10^{23}$) ηλεκτρόνια έχουν φορτίο $96\,500\text{ C}$. Η ποσότητα αυτή του φορτίου ονομάζεται σταθερά Faraday και συμβολίζεται, F .

$$F = N_A e = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot$$

$$\cdot 1,062 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 96\,500 \text{ C mol}^{-1}$$



Ο Michael Faraday

(1791 - 1867) ήταν ένα

από τα δέκα παιδιά ενός
Άγγλου σιδηρουργού,

εγκατέλειψε το σχολείο

σε ηλικία 12 ετών για να εργασθεί σ'
ένα βιβλιοπωλείο.

Ο εργοδότης του (εντελώς παρά-
δοξα για κείνη την εποχή) του επέ-
τρεψε την μελέτη τις ελεύθερες
ώρες του. Όταν έγινε 21 ετών επι-
σκέφτηκε τον Davy καθηγητή στο
Βασιλικό Ινστιτούτο. Ο Davy εξε-
πλάγη από τις γνώσεις και τον εν-
θουσιασμό και του προσέφερε θέση
βοηθού στο Ινστιτούτο.

Ο Faraday μεταξύ άλλων μελέτησε
την υγροποίηση των αερίων και ανα-
κάλυψε το βενζόλιο. Κυρίως όμως

έγινε γνωστός από τις εργασίες του στον ηλεκτρισμό. Εκτός των άλλων είναι ο πρώτος που ανακάλυψε τον ηλεκτρικό κινητήρα. Για πολλά χρόνια αρρώστησε από τα υλικά που χρησιμοποιούσε στα πειράματά του, κατά πάσα πιθανότητα από τον υδράργυρο. Ευτυχώς όμως, η υγεία του αποκαταστάθηκε και συνέχισε απρόσκοπτα το επιστημονικό του έργο. Όσο ήταν στη ζωή δεν έτυχε της αναγνώρισης που θα έπρεπε. Ωστόσο, ο ίδιος ένιωθε βαθιά ικανοποίηση για τα επιτεύγματά του.

Για παράδειγμα κατά την ηλεκτρόλυση τήγματος NaCl λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις:



Απ' αυτές προκύπτει ότι:

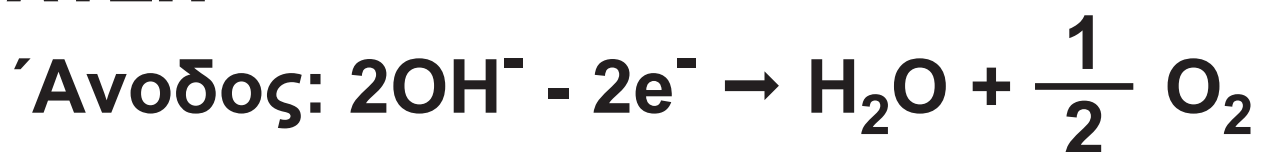
Κατά τη δίοδο 2 mol e^- ελευθερώνονται 2 mol N_A και 1 mol Cl_2 .

ή $2 \cdot 96\,500 \text{ C}$ ελευθερώνουν 2 mol N_A και 1 mol Cl_2 .

Παράδειγμα 1.5

Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος H_2SO_4 εκλύονται στην άνοδο 32 g O_2 . Ποιο είναι το φορτίο που πέρασε μέσα από το διάλυμα;

ΛΥΣΗ



$$2 \text{ mol e}^- \qquad \frac{1}{2} \text{ mol}$$

$$\text{ή} \qquad \frac{2 \cdot 96\,500 \text{ C}}{x} = \frac{16 \text{ g}}{32 \text{ g}}$$

$$x = 4 \cdot 96\,500 \text{ C}$$

Εφαρμογή

Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος NaOH εκλύονται στην άνοδο 8 g O₂.

Ποιο είναι το φορτίο που πέρασε από το διάλυμα;

(1 F)

Παράδειγμα 1.6

Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος CuSO_4 χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια Cu που ζυγίζουν 20 g το καθένα, ενώ από τον ηλεκτρολύτη πέρασε φορτίο 9 650 C. Ποια είναι η μάζα των ηλεκτροδίων μετά την ηλεκτρόλυση;

ΛΥΣΗ



Με φορτίο $2 N_A \text{e}^-$ αποτίθεται 1 mol Cu και διαλύεται 1 mol Cu^{2+}

$$\text{ή } \frac{2 \cdot 96\,500 \text{ C}}{9650 \text{ C}} = \frac{64 \text{ g}}{x} = \frac{64 \text{ g}}{y}$$

$$x = 3,2 \text{ g και } y = 3,2 \text{ g}$$

Άρα μετά την ηλεκτρόλυση έχουμε:

$$m_{\text{καθόδου}} = (20 + 3,2) \text{ g} = 23,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{ανόδου}} = (20 - 3,2) \text{ g} = 16,8 \text{ g}$$

Εφαρμογή

Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος CuSO_4 χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια Cu , που ζυγίζουν 30 g το καθένα, ενώ από τον ηλεκτρολυτικό αγωγό πέρασε φορτίο 19 300 C. Ποια είναι η διαφορά μάζας ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια μετά την ηλεκτρόλυση;

(12,8 g)

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ
ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ**

ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (A) ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ (s)



ΦΟΡΤΙΟ (C)
 $q = it$



ΜΟΛ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ - ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΩΝ
Με βάση τη στοιχειομετρία των χημικών
εξισώσεων



MOL e-

1F = 96 500 C και αντιστοιχεί σε N_A e-



ΜΑΖΑ Ή ΟΓΚΟΣ ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΩΝ - ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

1 mol αντιστοιχεί

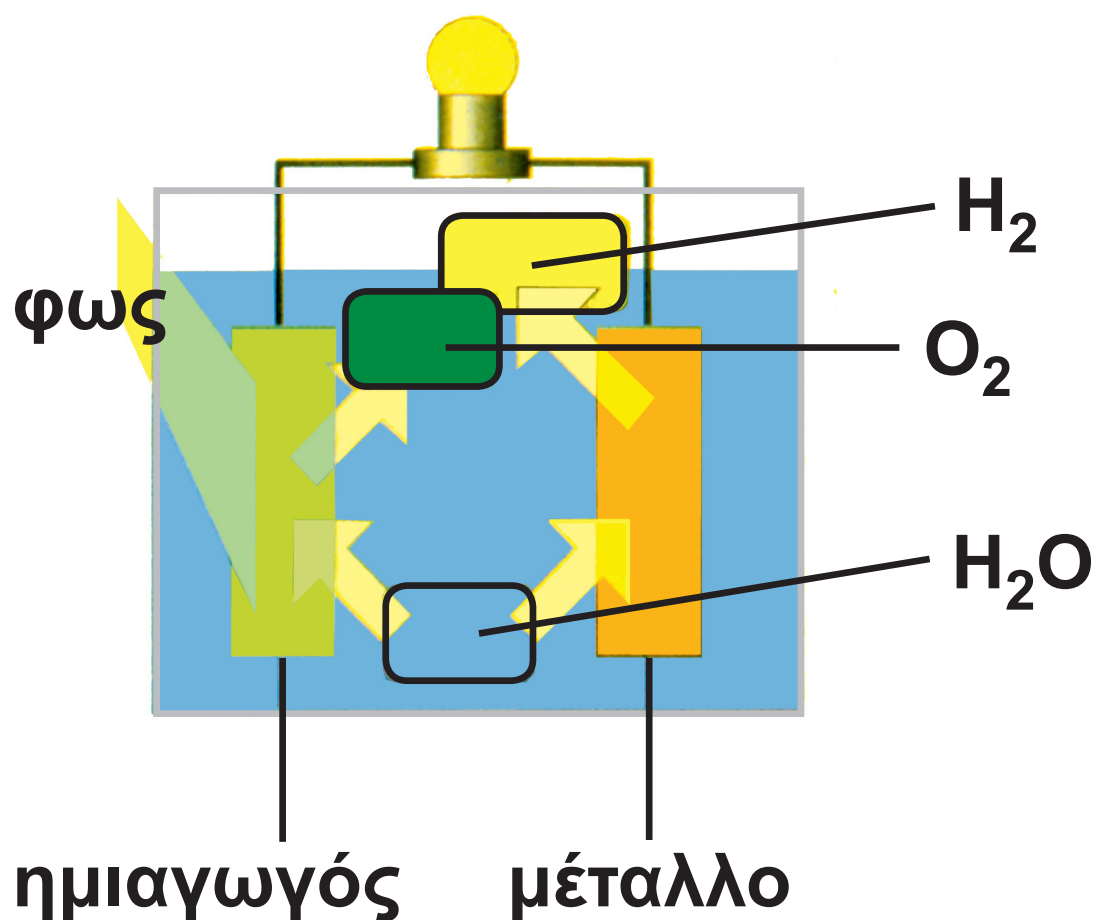
σε μάζα A_r g και σε όγκο 22,4 L (STP)

Γνωρίζεις ότι...

Τεχνητή φωτοσύνθεση

Το πρόβλημα των καυσίμων εξακολουθεί και είναι οξύ. Το πετρέλαιο, το κάρβουνο και το φυσικό αέριο αρχίζουν να λιγοστεύουν και είναι ήδη ακριβά. Επιπλέον επιβαρύνουν δυσανάλογα το περιβάλλον. Το ιδανικό θα είναι ένα καύσιμο που «ποτέ δε θα τελειώνει» και κατά τη χρήση του δε θα μολύνει την ατμόσφαιρα. Ένα τέτοιο καύσιμο είναι το υδρογόνο. Από πρώτη όψη αυτό μπορεί να παράγεται με ηλεκτρόλυση νερού. Όμως, η απαιτούμενη για την ηλεκτρόλυση ενέργεια

είναι μεγαλύτερη από εκείνη που θα παίρνουμε από την καύση του H_2 .

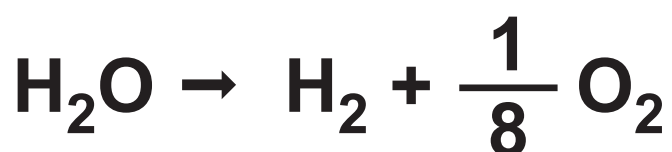


φωτοηλεκτροχημικό στοιχείο

Η φύση όμως μας έχει προμηθεύσει το «εργοστάσιο» για την

παραγωγή του H_2 . Το χημικό αυτό εργοστάσιο υπάρχει ακόμα και σε κάθε αυλή των σπιτιών. Και αυτό δεν είναι άλλο από τα πράσινα φύλλα των φυτών και η διαδικασία είναι η πιο ζωογόνα οξειδοαναγωγική αντίδραση, η φωτοσύνθεση. Με αυτήν παράγονται γλυκόζη, κυτταρίνη και άμυλο, αποθηκεύοντας την ηλιακή ενέργεια σαν μελλοντικό καύσιμο, το ξύλο. Αυτή τη λογική προσπαθούν οι επιστήμονες να την υλοποιήσουν και να παράγουν H_2 από ηλεκτρόλυση νερού με μόνη πηγή ενέργειας το ηλιακό φως. Αυτό το προσπαθούν με τα λεγόμενα φωτοηλεκτροχημικά

στοιχεία τα οποία είναι ηλεκτρολυτικά στοιχεία τα οποία πραγματοποιούν την αντίδραση



χρησιμοποιώντας το ηλιακό φως. Προσέξτε, αυτά διαφέρουν από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ροή ηλεκτρονίων (ρεύμα). Αυτά όπως είπαμε παράγουν H_2 το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο.

Οι συσκευές αυτές σαν άνοδο χρησιμοποιούν ημιαγωγούς και σαν κάθοδο αδρανή μέταλλα, όπως π.χ. λευκόχρυσο. Η απόδοση των φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων φτάνει το 10%, ενώ

εκείνη της φωτοσύνθεσης μόλις το 3%. Η απόδοση αυτή μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ορισμένων χρωστικών οι οποίες απορροφούν έντονα την ηλιακή ακτινοβολία. Για ακόμα μια φορά η επιστήμη αντιγράφει τη φύση, διότι μην ξεχνάτε ότι στα πράσινα φύλλα υπάρχει η χλωροφύλλη η οποία απορροφά το κόκκινο και το μπλε από τα μήκη κύματος του ηλιακού φωτός.

Ανακεφαλαίωση

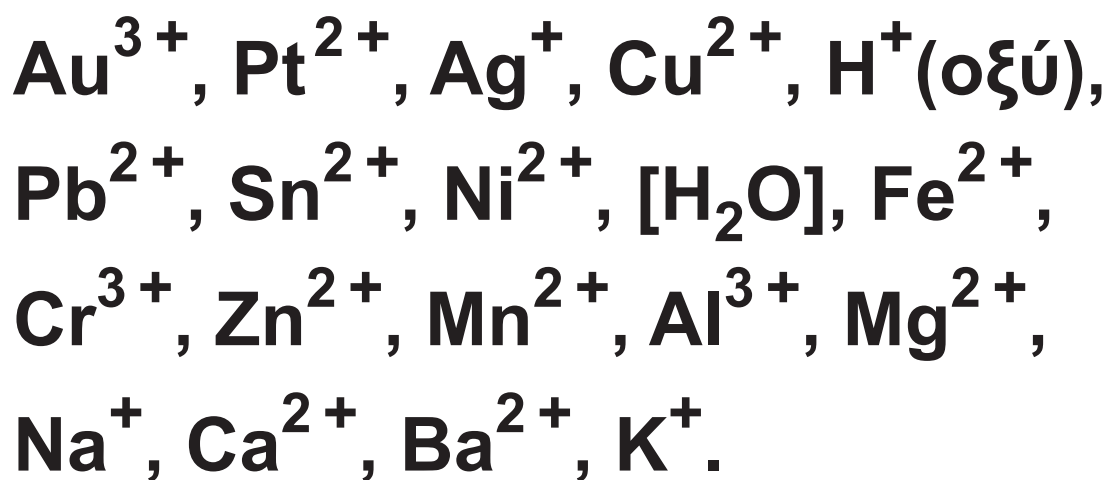
- 1.** Αριθμός οξείδωσης (Α.Ο.) ενός ιόντος σε μια ιοντική ένωση είναι το φορτίο του ιόντος. Αριθμός οξείδωσης ενός ατόμου σε μια ομοιοπολική ένωση ονομάζεται το φαινομενικό φορτίο που θα αποκτήσει το άτομο αν τα ζεύγη ηλεκτρονίων δοθούν σ' εκείνο το άτομο που τα έλκει περισσότερο.
- 2.** Σήμερα πλέον οξείδωση ονομάζεται η αύξηση του Α.Ο. και αναγωγή η ελάττωση του Α.Ο.
- 3.** Οι αντιδράσεις διακρίνονται σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγικές και μη οξειδοαναγωγικές ή μεταθετικές.

4. Οξειδωτικά σώματα ονομάζονται τα σώματα (στοιχεία ή ενώσεις) που προκαλούν οξείδωση, γιατί περιέχουν άτομα που μπορούν να αναχθούν. Αναγωγικά σώματα ονομάζονται τα σώματα (στοιχεία ή ενώσεις) που προκαλούν αναγωγή, γιατί περιέχουν άτομα που μπορούν να οξειδωθούν.

5. Η ισοστάθμιση (εύρεση συντελεστών) των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής στηρίζεται στην παρατήρηση ότι η συνολική αύξηση του Α.Ο. του αναγωγικού πρέπει να είναι κατ' απόλυτη τιμή ίση με τη συνολική ελάττωση του αριθμού οξείδωσης του οξειδωτικού.

6. Ηλεκτρόλυση ονομάζεται το σύνολο των αντιδράσεων οξειδω-
σης και αναγωγής που λαμβάνουν χώρα, όταν σε ένα τήγμα ή διάλυμα ηλεκτρολύτη εφαρμόσουμε κατάλληλη διαφορά δυναμικού.

7. Η σειρά εκφόρτισης στην κάθοδο για τα συνήθη κατιόντα όταν βρίσκονται σε παραπλήσιες συγκεντρώσεις και με αδρανή ηλεκτρόδια είναι:



Η σειρά εκφόρτισης στην άνοδο για τα συνήθη ανιόντα, όταν βρίσκονται σε παραπλήσιες

συγκεντρώσεις και με αδρανή ηλεκτρόδια, είναι:

S^{2-} , OH^- (βάση), I^- , $[H_2O]$, Br^- ,
 Cl^- , οξυγονούχα ιόντα, F^- .

8. Κατά την ηλεκτρόλυση άνοδος είναι το θετικό ηλεκτρόδιο, στο οποίο λαμβάνει χώρα οξείδωση και κάθοδος είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, στο οποίο λαμβάνει χώρα αναγωγή.

9. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων που ελευθερώνονται στα δύο ηλεκτρόδια μπορεί να γίνει εύκολα με τη στοιχειομετρία. Για τους υπολογισμούς θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι: $1 \text{ mol } e^-$ (N_A ηλεκτρόνια) έχουν φορτίο 1 Faraday (96 500 C).

Λέξεις - κλειδιά

Αριθμός Οξειδωσης

Οξείδωση

Αναγωγή

Οξειδοαναγωγική αντίδραση

Μεταθετική αντίδραση

Οξειδωτικό σώμα

Αναγωγικό σώμα

Ηλεκτρόλυση

Ηλεκτρολυτικά στοιχεία

Μεταλλικοί αγωγοί

Ηλεκτρολυτικοί αγωγοί

Άνοδος

Κάθοδος

Σειρά εκφόρτισης



Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα

Ερωτήσεις επανάληψης

- 1.** Τι είναι αριθμός οξείδωσης ατόμου ή ιόντος;
- 2.** Ποιοι πρακτικοί κανόνες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Α.Ο.;
- 3.** Πώς ορίζεται σήμερα η οξείδωση και η αναγωγή;
- 4.** Πώς διακρίνεται μια οξειδοαναγωγική από μια μεταθετική αντίδραση;
- 5.** Τι ονομάζεται οξειδωτική ουσία και τι αναγωγική;
- 6.** Τι ονομάζεται ηλεκτρόλυση;

- 7.** Ποιες είναι οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των ηλεκτρολυτικών και μεταλλικών αγωγών;
- 8.** Τι ονομάζεται κάθοδος κατά την ηλεκτρόλυση και τι φαινόμενο λαμβάνει χώρα σε αυτή;
- 9.** Τι ονομάζεται άνοδος κατά την ηλεκτρόλυση και τι φαινόμενο λαμβάνει χώρα σε αυτή;
- 10.** Ποια είναι η σειρά εκφόρτισης των κυριότερων κατιόντων όταν αυτά βρίσκονται σε παραπλήσιες συγκεντρώσεις;
- 11.** Ποια είναι η σειρά εκφόρτισης των κυριότερων ανιόντων όταν αυτά βρίσκονται σε παραπλήσιες συγκεντρώσεις;

12. Ποιο είναι το φορτίο 1 mol ηλεκτρονίων;

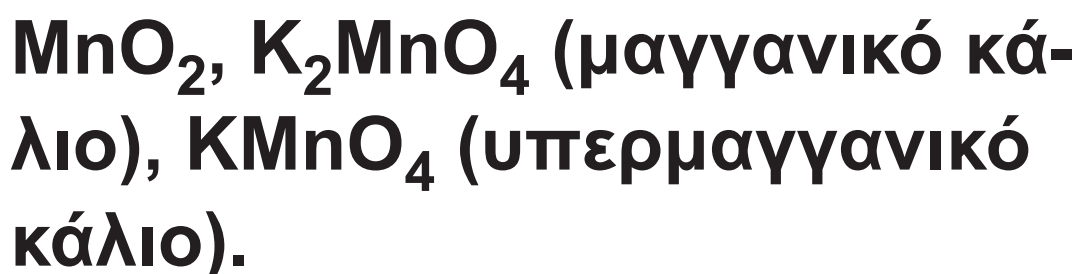
Ασκήσεις - Προβλήματα

α. Ορισμοί - Αριθμός οξειδωσης - οξειδωση - αναγωγή

13. Να βρείτε τον αριθμό οξειδωσης του P στις ουσίες:



14. Να βρείτε τον αριθμό οξειδωσης του Mn στις ουσίες:



15. Να βρείτε τον αριθμό οξειδωσης του Cl στις ουσίες:



16. Να συμπληρώσετε τα κενά στις ακόλουθες προτάσεις:

α. Αριθμός οξείδωσης ενός ατόμου σε μια ομοιοπολική ένωση, ονομάζεται το

.....που θα αποκτήσει το άτομο αν τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων αποδοθούν σ' εκείνο το άτομο

που.....

β. Οξείδωση είναι η του Α.Ο. ενός ατόμου ή ιόντος.

γ. Οξειδωτικά σώματα ονομάζονται τα σώματα που προκαλούν, γιατί περιέχουν άτομα που μπορούν να

.....

δ. Αναγωγικά σώματα ονομάζονται τα σώματα που προκαλούν, γιατί περιέχουν άτομα που μπορούν να

.....

17. Σε κάθε ουσία της πρώτης στήλης να αντιστοιχίσετε τον Α.Ο. του αζώτου σ' αυτή την ουσία που είναι γραμμένη στη δεύτερη στήλη.

1η στήλη	2η στήλη
HNO_3	- 2
NO_2	0
HNO_2	- 3
NO	+ 5
N_2O	+ 4
N_2	+ 1
NH_2OH	- 1
NH_2NH_2	+ 2
NH_3	+ 3

- 18.** Να χαρακτηρίσετε με ένα Σ κάθε σωστή από τις επόμενες προτάσεις και με ένα Λ κάθε λανθασμένη πρόταση.
- α. Κάθε αποβολή ηλεκτρονίων είναι οξείδωση.
 - β. Σε κάθε οξείδωση παρατηρείται πραγματική αποβολή ηλεκτρονίων.
 - γ. Κάθε πρόσληψη ηλεκτρονίων είναι αναγωγή.
 - δ. Σε κάθε αναγωγή παρατηρείται πραγματική πρόσληψη ηλεκτρονίων.
 - ε. Οξειδωτικό σώμα είναι αυτό που οξειδώνεται.
 - στ. Αναγωγικό σώμα είναι αυτό που ανάγεται.

- 19.** Για την αντίδραση
 $2\text{Na} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NaBr}$ ποια από
τις ακόλουθες προτάσεις είναι
σωστή;
- α. Το Na ανάγεται.
 - β. Το Br_2 οξειδώνεται.
 - γ. Το Na δρα ως αναγωγικό.
 - δ. Το Br_2 δρα ως αναγωγικό.

- 20.** Σε κάθε μια έκφραση της
πρώτης στήλης, να αντιστοιχί-
σετε την αντίστοιχη έννοια της
δεύτερης στήλης.

I

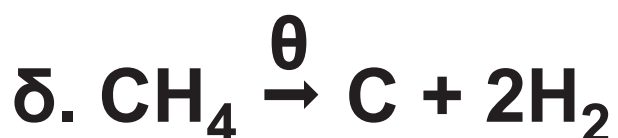
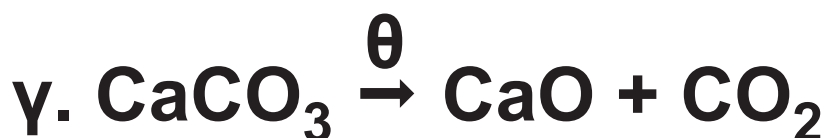
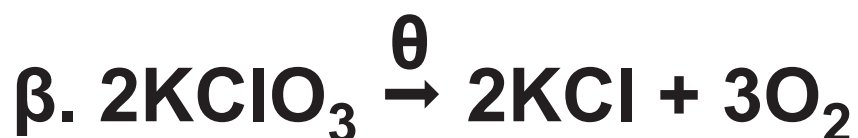
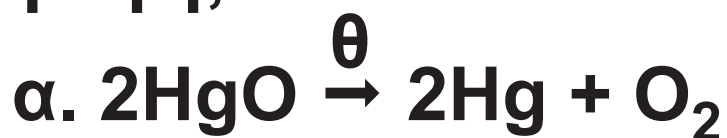
**αποβολή ηλεκτρονίων
αύξηση αριθμού οξειδωσης
οξειδωτικό
αναγωγικό
πρόσληψη ηλεκτρονίων
ελάττωση αριθμού οξειδωσης**

II

**ανάγεται
αναγωγή
οξειδωση
οξειδωση
οξειδώνεται
αναγωγή**

21. Γιατί ο ορισμός «οξειδωση είναι η αύξηση του αριθμού οξειδωσης ενός ατόμου ή ιόντος» είναι γενικότερος από τον ορισμό «οξειδωση είναι η αποβολή ηλεκτρονίων»;

22. Ποια από τις επόμενες θερμικές διασπάσεις δεν είναι οξειδοαναγωγή;

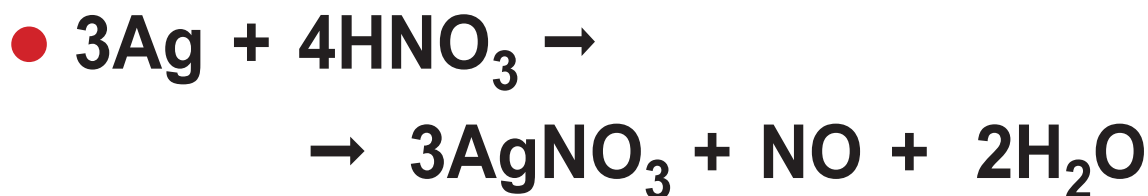
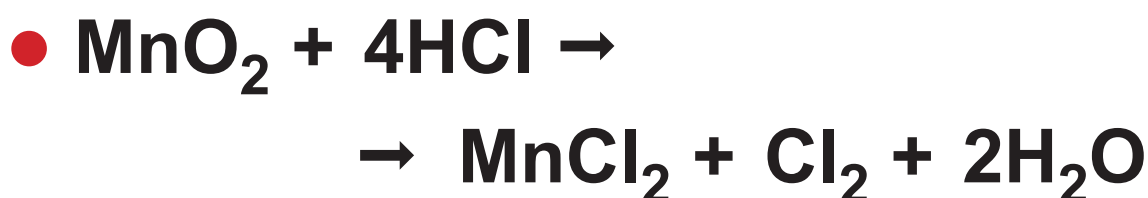
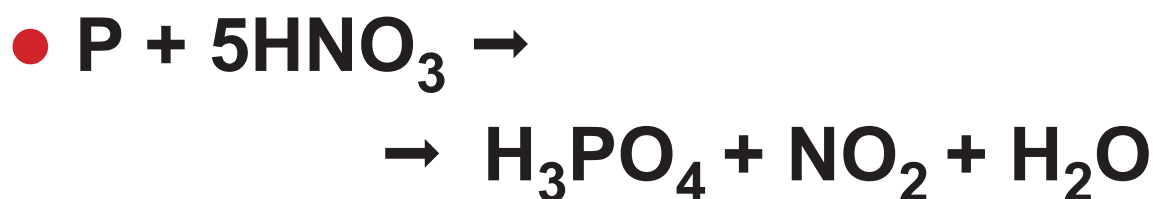


23. Να συμπληρώσετε κάθε κενό με μια λέξη:



ο C είναισώμα.
Στην αντίδραση: $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$,
ο C είναι.....σώμα.

24. Να καθορίσετε το οξειδωτικό και το αναγωγικό σώμα σε κάθε μια από τις ακόλουθες αντιδράσεις:



25. Στην αντίδραση:

$\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$, το SO_2
δρα ωςσώμα, γιατί
το θείοαπό

A.O. = +4 σε A.O. =

Στην αντίδραση:

$\text{SO}_2 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2$, το
 SO_2 δρα ωςσώμα,
γιατί το θείοαπό

A.O. = + 4 σε A.O. =.....

26. Στην αντίδραση:

$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HI} \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, το H_2O_2
δρα ως σώμα, γιατί
το οξυγόνοαπό

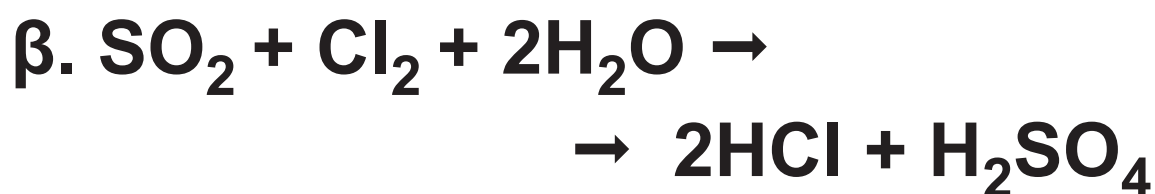
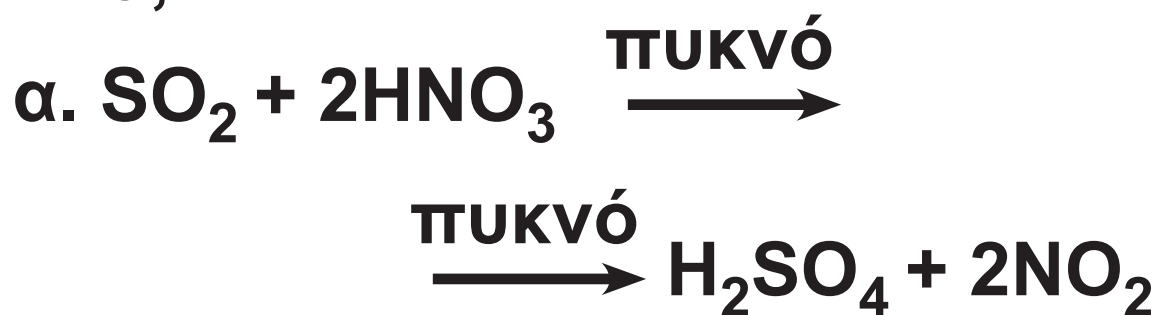
A.O. = - 1 σε A.O. =.....

Στην αντίδραση:

$5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow 5\text{O}_2 + 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$,

το H_2O_2 δρα ως
σώμα, γιατί το οξυγόνο.....
από Α.Ο. = - 1 σε
Α.Ο. =

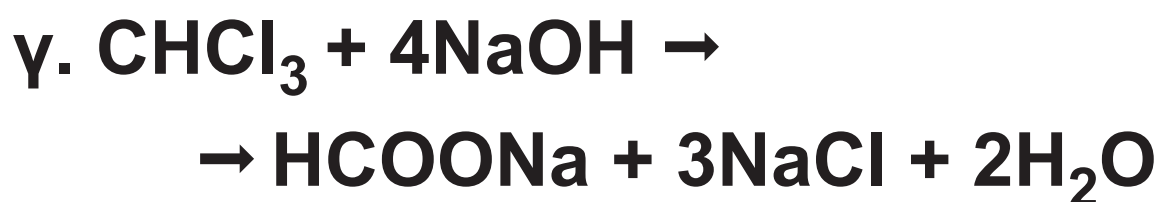
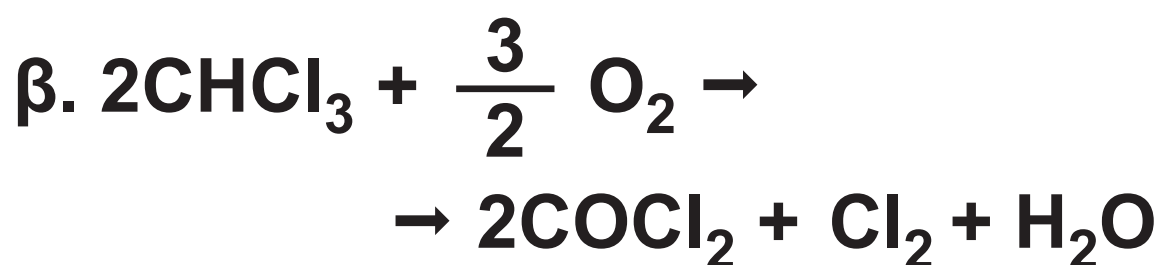
27. Σε ποια από τις επόμενες αντιδράσεις το SO_2 δρα ως οξειδωτικό;



28. Σε ποια από τις επόμενες αντιδράσεις το H_2S δρα ως οξειδωτικό;



29. Σε βιβλίο οργανικής χημείας αναφέρονται οι ακόλουθες 3 αντιδράσεις:



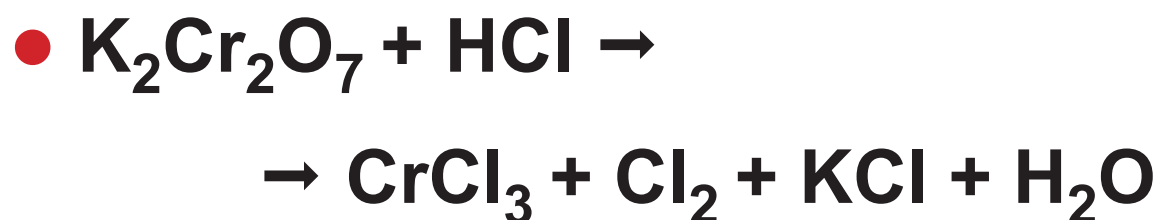
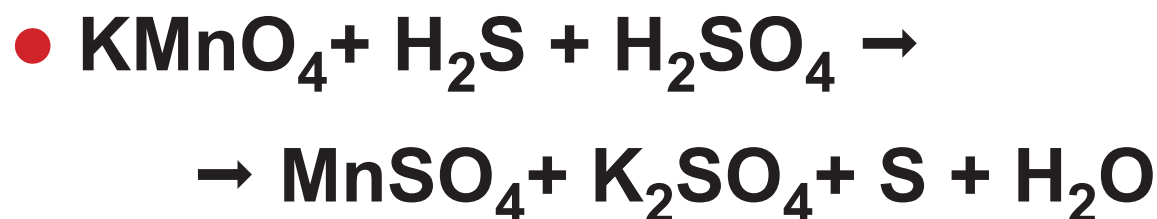
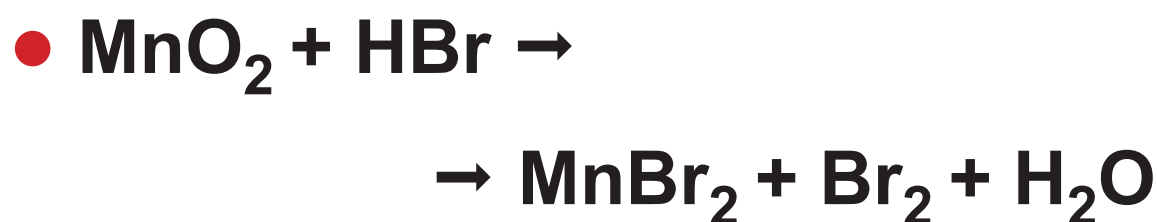
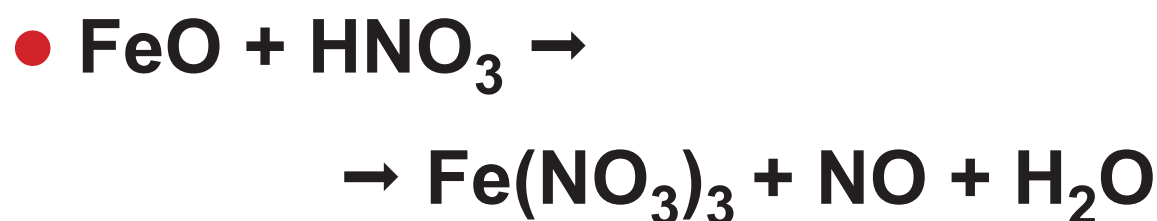
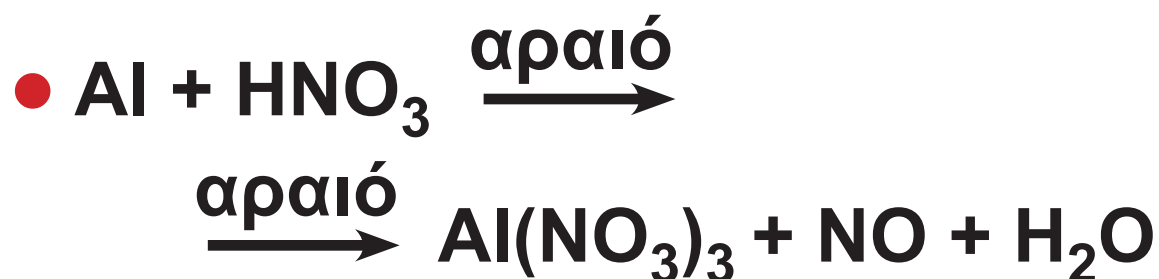
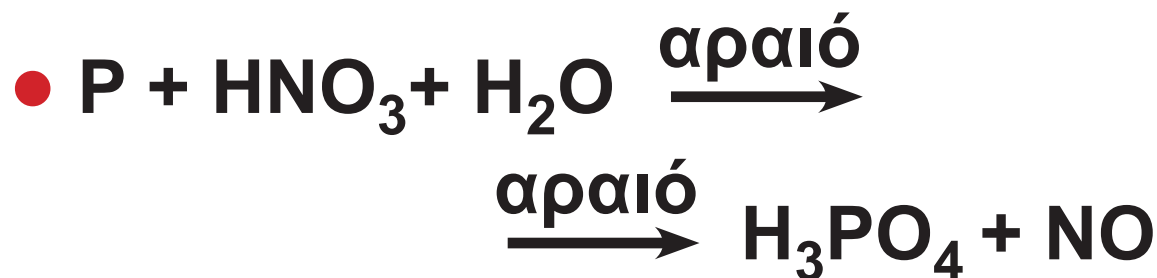
Να σημειώσετε ποιες είναι οξειδοαναγωγικές και ποια δεν είναι.

β. Συμπλήρωση αντιδράσεων

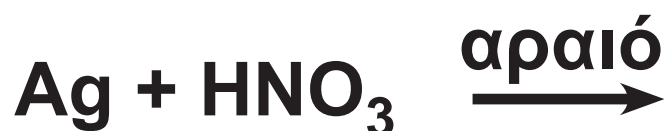
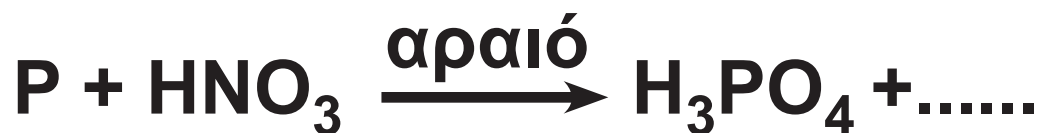
30. Να συμπληρώσετε όσες από τις ακόλουθες αντιδράσεις γίνονται:



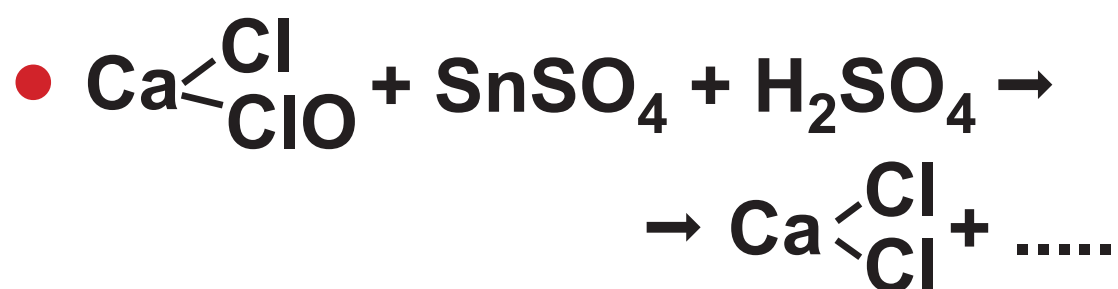
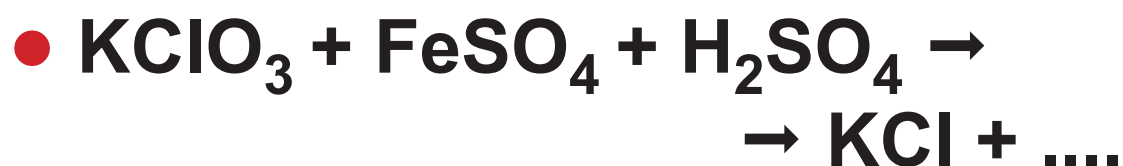
31. Να βρείτε τους συντελεστές των επόμενων αντιδράσεων:

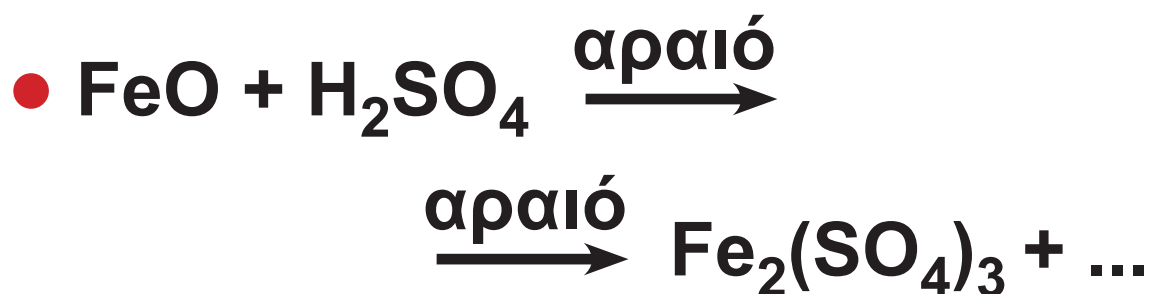
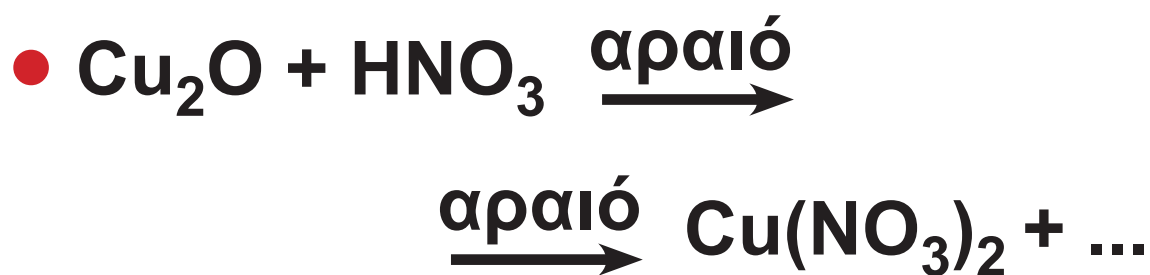


32. Να συμπληρώσετε τις επόμενες αντιδράσεις:

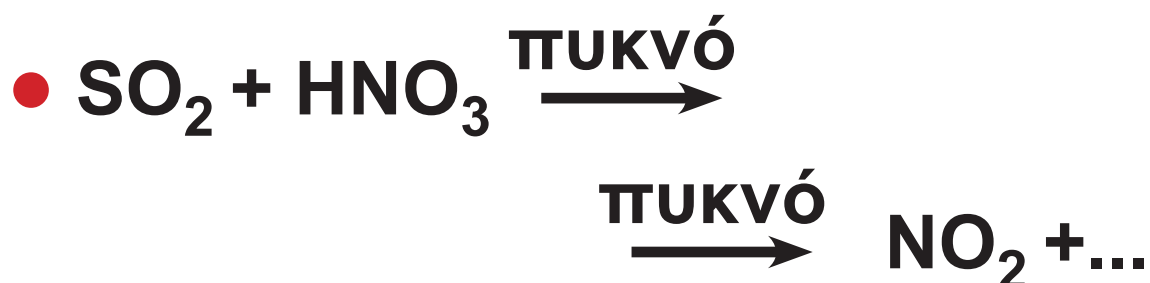


33. Να συμπληρώσετε τις ακόλουθες αντιδράσεις:





34. Να συμπληρώσετε τις ακόλουθες αντιδράσεις:



35. Να συμπληρώσετε τις ακόλουθες αντιδράσεις:



36. Κατά την αντίδραση χλωρίου με πυκνό διάλυμα ΚΟΗ σχηματίζεται ΚCl και ΚClO₃.



Να βρείτε ποιο στοιχείο ανάγεται και ποιο οξειδώνεται στην αντίδραση αυτή και να προσπαθήσετε να τη συμπληρώσετε.

γ. Στοιχειομετρικά προβλήματα

37. Ποιος είναι ο όγκος του εκλυόμενου NO σε STP συνθήκες κατά την πλήρη διάλυση 21,6 g Ag σε αραιό διάλυμα νιτρικού οξέος;

1,49 L

38. 10g ακάθαρτου χαλκού διαλύονται σε περίσσεια πυκνού θερμού διαλύματος H_2SO_4 και εκλύονται 3,36 L SO_2 σε STP συνθήκες. Ποια η % περιεκτικότητα του ακάθαρτου Cu σε καθαρό; (Θεωρούμε ότι οι προσμίξεις δεν αντιδρούν με το H_2SO_4).

95,25%

143 / 36

39. 20 g κράματος Cu-Zn προστίθενται σε περίσσεια διαλύματος HCl και εκλύονται 4,48 L H₂ σε STP συνθήκες. Ποια η % περιεκτικότητα του κράματος σε Cu;

35%

40. 27,95 g κράματος Cu-Ag διαλύονται πλήρως σε περίσσεια πυκνού διαλύματος H₂SO₄ και εκλύονται 4,48 L SO₂ σε STP συνθήκες. Ποια η σύσταση του κράματος;

6,35 g - 21,6 g

144 / 36 - 37

41. Μέταλλο M έχει ατομικό αριθμό 20 και είναι πιο αναγωγικό από το H_2 . 8 g του M διαλύονται σε περίσσεια διαλύματος HCl και εκλύονται 4,48 L H_2 σε stp. Ποια είναι η σχετική ατομική μάζα του M;

40

42. Πόσος ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος διαλύματος $KMnO_4$ 0,1 M που χρειάζεται για την πλήρη οξειδωση 200 mL διαλύματος $FeSO_4$ 0,5 M παρουσία H_2SO_4 ;

200 mL

145 / 37

43. 200 mL διαλύματος KMnO_4 (A) χρειάζονται για να οξειδώσουν πλήρως 40 mL διαλύματος SnCl_2 0,2 M παρουσία HCl . Ποια η περιεκτικότητα του (A) σε mol L^{-1} (Molarity);

0,016 M

44. Αν γνωρίζουμε ότι 11,9 g Sn απαιτούν για να οξειδωθούν πλήρως σε μια και μόνη χλωριούχο ένωση SnCl_x 400 mL διαλύματος KMnO_4 0,1 M παρουσία HCl , να υπολογίσετε ποιο είναι το x;

2

146 / 37

- 45.** Να χαρακτηρίσετε κάθε σωστή πρόταση με ένα Σ και κάθε λανθασμένη με ένα Λ και να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
- α. Στην άνοδο κατά την ηλεκτρόλυση οδεύουν τα κατιόντα.
 - β. Στην άνοδο κατά την ηλεκτρόλυση λαμβάνει χώρα οξείδωση.
 - γ. Στην κάθοδο κατά την ηλεκτρόλυση οδεύουν τα κατιόντα όπου ανάγονται.
 - δ. Στην κάθοδο κατά την ηλεκτρόλυση λαμβάνει χώρα οξείδωση.

- 46.** Να συμπληρώσετε τα κενά των επόμενων προτάσεων.
- α. Κατά την ηλεκτρόλυση
.....ενέργεια μετατρέπεται σε χημική.

- β. Στα γαλβανικά στοιχεία
..... ενέργεια που
ελευθερώνεται από μία
..... αντίδραση
μετατρέπεται σε
ενέργεια.**
- γ. Η αγωγιμότητα των μεταλλικών αγωγών οφείλεται στα
.....ηλεκτρόνια που
υπάρχουν στο
πλέγμα.**
- δ. Η αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτικών αγωγών οφείλεται
στα και συντελείται μέσω αντιδράσεων
..... που συντελούνται
στα δύο.....**

δ. Ασκήσεις Ηλεκτροχημείας

47. Ένα Faraday είναι:

- α. Ποσότητα φορτίου ίση με 1 C.
- β. Ποσότητα στοιχείου που ηλεκτρολυτικά αποτίθεται όταν περάσει φορτίο 96 500 C.
- γ. Ποσότητα φορτίου 1 mol ηλεκτρονίων που είναι περίπου ίση με 96 500 C.

48. Σε κάθε έννοια της πρώτης στήλης να αντιστοιχίσετε μια έννοια της δεύτερης στήλης.

**θετικά φορτισμένο
αναγωγή
αρνητικά φορτισμένο
οξείδωση
ηλεκτρόλυση
μπαταρία
(γαλβανικό στοιχείο)**

**άνοδος
κατιόν
ηλεκτρική ενέργεια →
χημική ενέργεια
κάθοδος
χημική ενέργεια →
ηλεκτρική ενέργεια
ανιόν**

49. Ποσότητα φορτίου όταν περάσει από διάλυμα AgNO_3 προκαλεί απόθεση 5,4 g Ag. Ποια μάζα Cu θα αποτεθεί όταν η ίδια ποσότητα περάσει μέσα από διάλυμα CuSO_4 ;

1,5875 g

50. Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος CuSO_4 με αδρανή ηλεκτρόδια εκλύεται στην άνοδο O_2 .

Όταν από το διάλυμα περάσει φορτίο 4 Faraday τότε θα ελευθερωθούν στην άνοδο:

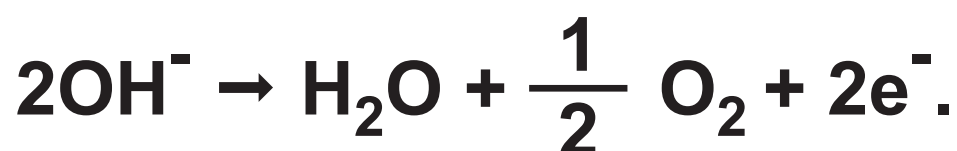
α. 4 mol O_2 .

β. 1 mol O_2 .

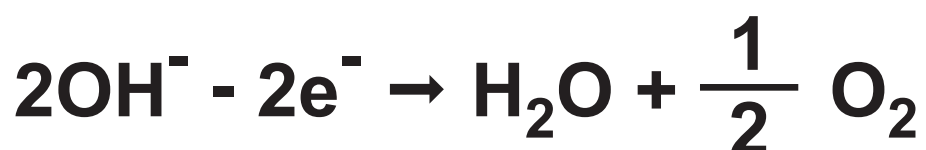
γ. 2 mol O_2 .

δ. 0,5 mol O_2 .

Υπόδειξη: Προσέξτε



51. Ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου όταν περάσει από διάλυμα MgBr_2 προκαλεί σχηματισμό $0,04 \text{ mol Br}_2$. Πόσα mol O_2 θα ελευθερωθούν όταν περάσει διπλάσια ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου μέσα από διάλυμα H_2SO_4 , οπότε στην άνοδο γίνεται η αντίδραση:



0,04 mol

*** 52.** Κατά την ηλεκτρόλυση διαλύματος που περιέχει NaCl , MgBr_2 και KI , ποιο στοιχείο θα σχηματιστεί κατ' αρχή στην άνοδο; Ποιο στοιχείο θα σχηματιστεί στην κάθοδο:

153 / 38

53. Ηλεκτρολύεται διάλυμα AgNO_3 και χρησιμοποιείται ως άνοδος Ag και ως κάθοδος μεταλλικό πιρούνι που θέλουμε να επαργυρωθεί. Αν η ένταση του ρεύματος είναι $0,01 \text{ A}$ και η μάζα του πιρουνιού αυξήθηκε κατά $0,108 \text{ g}$, πόσο χρόνο διάρκεσε η επαργύρωση;

9650 s

54. Αν ηλεκτρολυθεί διάλυμα που περιέχει CuSO_4 και ZnSO_4 για λίγο χρόνο με αδρανή ηλεκτρόδια, στα δύο ηλεκτρόδια θα ελευθερωθούν:

- α. Cu και Zn .
- β. Cu και H_2 .
- γ. Cu και O_2 .
- δ. Zn και O_2 .

Γενικά Προβλήματα

55. Σε ένα χημικό εργαστήριο υπάρχουν τρία δοχεία ένα κατασκευασμένο από χαλκό και δύο από αργίλιο. Στα δοχεία αυτά θέλουμε να αποθηκεύσουμε για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να αλλοιωθούν τα παρακάτω διαλύματα: 1 θειικό σίδηρο(II), FeSO_4 2. χλωριούχο κάλιο, KCl 3. θειϊκό μαγνήσιο, MgSO_4 4. νιτρικό μαγνήσιο, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 5. υδροχλωρικό οξύ, HCl . Σε ποιο είδος δοχείου πρέπει να αποθηκευτεί το κάθε διάλυμα. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

**** 56.** α. Μεταλλικός Hg ανάγει $K_2Cr_2O_7$ παρουσία HCl. Αν κατά την αντίδραση παράγεται ένωση του μονοσθενούς Hg ή του δισθενούς Hg και 10 g Hg ανάγουν πλήρως 25 mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7 \frac{1}{3}$ M να βρεθεί ο αριθμός οξείδωσης του Hg.

β. Αν η οξείδωση του Hg γίνει σε διαφορετικές συνθήκες, ώστε να παράγεται μίγμα ενώσεων μονοσθενούς και δισθενούς Hg και 10g Hg οξειδώνονται πλήρως από 45 mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7 \frac{1}{3}$ M να βρείτε

το % ποσοστό του Hg που οξειδώνεται σε Hg^{2+} .

α. 1, β. 80%

- ** 57.** Έλασμα σιδήρου που ζυγίζει 5 g βυθίζεται σε διάλυμα CuSO_4 , επιχαλκώνεται και μετά την επιχάλκωση ζυγίζει:
- α. 4,9 g
β. 5,075 g
γ. 15 g
- Ποια περίπτωση είναι σωστή και στην περίπτωση αυτή ποια είναι η μάζα του Cu που αποτέθηκε; (Στις αντιδράσεις απλής αντικατάστασης ο Fe παίρνει συνήθως το μικρότερο Α.Ο.).

β. 0,635 g

158 / 39

**** 58.** Καίγονται πλήρως 8 g S
οπότε σχηματίζεται SO_2
το οποίο αντιδρά πλήρως
με ίση ποσότητα υδατικού
διαλύματος Cl_2 απαιτείται.
Το διάλυμα που προκύπτει
περιέχει δύο οξέα τα οποία
εξουδετερώνονται πλήρως
από διάλυμα NaOH 0,5 M.
Ποιος είναι ο όγκος του
διαλύματος NaOH που απαι-
τείται για την εξουδετέρωση;

2L

**** 59.** Ηλεκτρολύεται διάλυμα NaCl 5,85% w/w που ζυγίζει 2 kg επί χρόνο $t = 16 \text{ min}$ και 5 s με ρεύμα έντασης $I = 2 \text{ A}$.

α. Ποιες είναι οι μάζες των αερίων που ελευθερώνονται στην άνοδο και την κάθοδο;

β. Ποια θα είναι η μάζα του διαλύματος μετά την ηλεκτρόλυση;

α. 0,02 g H_2 , 0,71 g Cl_2 ,

β. 1999,27 g

Δραστηριότητα

Επιμετάλλωση

Η επιμετάλλωση είναι μια από τις διαδεδομένες βιομηχανικές ή ημιβιομηχανικές τεχνικές. Πολλά από τα αντικείμενα που χρησιμοποιούμε είναι επιμεταλλωμένα είτε για προστασία από τη διάβρωση είτε για λόγους αισθητικούς. Στην περιοχή αυτή της εφαρμοσμένης χημείας χρησιμοποιούνται όροι και εκφράσεις πιο πολύ τεχνικές παρά επιστημονικές. Εκείνο το οποίο ζητείται είναι να ερευνήσετε βιβλιογραφικά ή όπως αλλιώς θέλετε τους παρακάτω όρους. Επίσης να βρείτε στοιχεία για τον πρωτοπόρο του φαινομένου **L. Galvani**.

Γαλβανοπλαστική, Τενεκές, Λαμαρίνα και γαλβανισμένη λαμαρίνα,

«γάνωμα».

Αν το αντικείμενο το οποίο θα επιμεταλλωθεί δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού (όπως ξύλο ή γυαλί), πώς γίνεται η επικάλυψη;

Θα χρησιμοποιούσατε επινικελωμένο σκεύος για να μαγειρέψετε; Γιατί τα απόβλητα μιας βιομηχανίας επιχρωμίσωσης είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικά για το περιβάλλον;

Απαντήσεις στις ασκήσεις πολλαπλής επιλογής και σωστού - λάθους

18. α. Σ, β. Λ, γ. Σ, δ. Λ, ε. Λ, στ. Λ

19. γ

22. γ

27. γ

28. δ

29. οξειδοαναγωγικές: α, β

45. α. Λ, β. Σ, γ. Σ, δ. Λ

50. β

52. I₂, H₂

54. γ



163 / 40

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

- Α.Γ. Βάρβογλης, «Χημείας Απόσταγμα», Εκδ. Τροχαλία, 1992.
- Α.Γ. Βάρβογλης, «Η Κρυφή Γοητεία της Χημείας», Εκδ. Τροχαλία, 1994.
- Α.Γ. Βάρβογλης, «Μεγάλοι Χημικοί», Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1995.
- Α.Γ. Βάρβογλης και Ν.Ε. Αλεξάνδρου, «Οργανική Χημεία», 4η έκδοση, Θεσσαλονίκη, 1970.
- Δ. Γάκης, «Ασκήσεις Χημικής Ισορροπίας σε Υδατικά Διαλύματα», Εκδ. ΕΜΠ, 1980.
- Δ. Γάκης, Α. Κάλλης, Κ. Καφετζόπουλος, Σ. Κονιδάρης, Δ. Κούρτης,

**«Χημεία Β' Λυκείου», ΟΕΔΒ,
Αθήνα, 1996.**

- **Δ. Γάκης, Α. Κάλλης, Κ. Καφετζό-
πουλος, Σ. Κονιδάρης, Δ. Κούρτης,
«Χημεία Β' Λυκείου, Λύσεις
Ασκήσεων», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1997.**
- **Τ. Γεωργιάδου, Κ. Καφετζόπουλος,
Ν. Πρόβης, Ν. Σπυρέλλης, Δ.
Χηνιάδης, «Χημεία Β' Γυμνα-
σίου», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1998.**
- **Τ. Γεωργιάδου, Κ. Καφετζόπουλος,
Ν. Πρόβης, Ν. Σπυρέλλης, Δ.
Χηνιάδης, «Χημεία Γ' Γυμνα-
σίου», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1998.**
- **Δ. Θεοδωρόπουλος, Π. Θεοδωρό-
πουλος, Κ. Παπαζήσης, «Ονομα-
τολογία - Ισομέρεια», Εκδ. Πελε-
κάνος, 1995.**
- **Δ. Θεοδωρόπουλος, Π. Θεοδωρό-
πουλος, «Μαθήματα Οργανικής
Χημείας», Εκδ. Πελεκάνος, 1997.**

- **Δ. Θεοδωρόπουλος, Π. Θεοδωρόπουλος, Κ. Κομνηνός, «Μαθήματα Γενικής Χημείας», Εκδ. Σαββάλα, 1995.**
- **Π. Θεοδωρόπουλος, Δ. Θεοδωρόπουλος, Κ. Παπαζήσης, «Ασκήσεις Χημείας Α' Λυκείου», Εκδ. Πελεκάνος, 1996.**
- **Ε. Καπετάνου, Α. Μαυρόπουλος, «Χημεία Β' Ενιαίου Λυκείου», ΟΕΔΒ, 1998.**
- **Β. Καρώνης, Α. Μπομπέτσης, Δ. Υφαντής, «Εργαστήριο Χημείας - Γ' Τάξη ΕΠΛ», ΟΕΔΒ, 1992.**
- **Β. Καρώνης, Α. Μπομπέτσης, Δ. Υφαντής, «Εργαστήριο Χημείας Γ' Τάξη ΕΠΛ - Τετράδιο Πειραμάτων», ΟΕΔΒ, 1992.**
- **Δ. Κατάκης, Γ. Πνευματικάκης, «Πανεπιστημιακή Ανόργανος**

- Χημεία», ΟΕΔΒ, 1983.**
- **Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, «Αξιολόγηση των μαθητών της Α' Λυκείου στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1997.**
 - **Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, «Αξιολόγηση των μαθητών της Α' Λυκείου (γενικές οδηγίες και στοιχεία μεθοδολογίας», ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1997.**
 - **Ν.Δ. Κλούρας, «Βασική Ανόργανη Χημεία», Εκδ. Π. Τρακλός - Ε. Κωσταράκη, Αθήνα, 1998.**
 - **Θ.Σ. Κουσούρης, Α.Μ. Αθανασάκης, «Περιβάλλον, Οικολογία, Εκπαίδευση», Εκδ. Σαββάλα, 1994.**
 - **Σ. Λιοδάκης, «Ασκήσεις Ανοργάνου Χημείας», Εκδ. ΕΜΠ, 1982.**

- **Σ. Λιοδάκης, «Εισαγωγικά Μαθήματα Αναλυτικής Χημείας», Εκδ. ΕΜΠ, 1999.**
- **Ζ. Λοίζος, «Γενική Χημεία», Εκδ. ΕΜΠ, 1997.**
- **Γ. Μανουσάκης, «Γενική και Ανόργανη Χημεία», Εκδ. Αφοί Κυριακίδη, 2η έκδοση, 1994.**
- **Κ. Μανωλκίδης, Κ. Μπέζας, «Χημεία Γενική και Ανόργανη», Αθήνα, 1993.**
- **Α. Μαυρόπουλος, Ε. Καπετάνου, «Χημεία Α' Ενιαίου Λυκείου», ΟΕΔΒ, 1998.**
- **Α. Μπομέτσης, Π. Καλλίτσης, «Εργαστήριο Χημείας Β' Τάξη ΕΠΛ», ΟΕΔΒ, 1986.**
- **Α. Μπομέτσης, Π. Καλλίτσης, «Εργαστήριο Χημείας Β' Τάξη ΕΠΛ - Τετράδιο Πειραμάτων», ΟΕΔΒ, 1986.**

- **J. Mc Murry, «Οργανική Χημεία, Τόμος Ι», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1998.**
- **Morrison και Boyd, «Οργανική Χημεία», Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1991.**
- **Γ.Κ. Παρισσάκης, «Βασικές Αρχές Αναλυτικής Χημείας», Εκδ. Παπασωτηρίου, 1996.**
- **Γ.Κ. Παρισσάκης, «Εργαστηριακές Ασκήσεις Ανοργάνου Χημείας», Εκδ. Παπασωτηρίου, 1996.**
- **Ε. Παπαχριστοδούλου, Β. Λοΐζου, Γ. Παπαχρυσόστομου, Κ. Κουμίδης, «Οργανική Χημεία Γ' Λυκείου», Λευκωσία, 1998.**
- **Π.Ο. Σακελλαρίδης, «Γενική Χημεία», Αθήνα, 1981.**

- **Α. Σταυρόπουλου, «Φυσικές Επιστήμες», Εκδ. Α. Σταμούλης, 1988.**
- **Κ.Α. Τσίπης, «Χημεία Ι, Άτομα & Μόρια», Εκδ. Ζήτη, 1996.**
- **Κ.Α. Τσίπης, «Χημεία ΙΙ, Καταστάσεις της ύλης», Εκδ. Ζήτη, 1997.**
- **P.W. Atkins, «Η Δημιουργία», Εκδ. Κάτοπτρο, 1993.**
- **P.W. Atkins, «Το περιοδικό βασίλειο», Εκδ. Κάτοπτρο, 1995.**
- **R.P. Feynman, «Έξι εύκολα κομμάτια», Εκδ. Κάτοπτρο, 1998.**
- **Morisson and Boyd, «Οργανική Χημεία», 4η έκδοση, Εκδ. Παν. Ιωαννίνων, 1988.**
- **Nuffield Advanced Science, «Χημεία - Θέματα 1 έως 11», Εκδ. Γ.Α. Πνευματικού, 1998.**

Ξενόγλωσση

- **D. Abbot, "Advanced Level Chemistry Basic Exercises", J.M. Dent and Sons Ltd., London, 1967.**
- **P.W. Atkins, J.A. Beran, "General Chemistry", 2nd Ed., Freeman and Company, 1990.**
- **P.W. Atkins, L. Jones, "Chemistry", 3rd Ed., Freeman and Company, 1997.**
- **P.W. Atkins, "Molecules", W.H. Freeman and Company, New York, 1987.**
- **Becker-Wentworth, "General Chemistry", Houghton Mifflin Co, Boston, 1980.**
- **J.E. Brady, "General Chemistry", John Wiley and Sons, 5th Ed., 1990.**

- **T. Brown, H. Le May, B. Bursten, "Chemistry - The Central Science", 7th Ed., Prentice - Hall, 1997.**
- **Chadwick, "Chemistry", George Allen & Unwin Ltd., London, 1977.**
- **R. Chang, "Chemistry", 6th Ed., McGraw-Hill, 1998.**
- **G.W. Daub, W. Seese, "Basic Chemistry", Prentice - Hall, 1996.**
- **D.D. Ebbing, "General Chemistry", 5th Ed., Houghton Mifflin Co, 1996.**
- **W. Eisner, et al. "Elemente Chemie I", Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1986.**
- **M. Freemantle, "Chemistry in Action", Mac Milan Education, London, 1987.**
- **R.G. Gillespie, D. Humphreys, N.C. Baird, E.A. Robinsen,**

- "Chemistry", 2nd Ed., Allyn and Bacon, Massachusetts, 1989.**
- **G. Hill, "Chemistry Counts", Hodder and Stoughton, London, 1986.**
 - **G. Hill and J. Holman, "Chemistry in Context", 4th Ed., Nelson, 1995.**
 - **J.W. Hill and D.K. Kolb, "Chemistry for Changing Times", Prentice - Hall, 1998.**
 - **J.W. Hill and R.H. Petrucci, "General Chemistry", Prentice - Hall, 1996.**
 - **N.R. Kneen, M.J. Rogers, P. Simpson, "Chemistry", Addison-Wesley Ltd., 1972.**
 - **J.C. Kotz and P. Treichel, "Chemistry and Chemical Reactivity", 3rd Ed., Saunders College Publishing, USA, 1996.**

- P. Lebrun, A. Cunnington, R. Vogel, **“Chimie 1er D.E.”**, Hatier, 1979.
- T. Lister and J. Renshaw, **“Understanding Chemistry”**, 2nd Ed., Stanley Thornes Ltd., 1991.
- H. Meislich, H. Nechamkin, J. Sharefkin, **“Organic Chemistry”**, McGraw-Hill, 1977.
- F.J. Moore, **“A History of Chemistry”**, McGraw-Hill, 1939.
- Murray S. Peter, **“Principles of Organic Chemistry”**, 2nd Ed., Heinemann Educational, 1977.
- E.N. Rausden, **“A-Level Chemistry”**, Stanley Thornes Ltd., 1985.
- J.L. Rosenberg, **“College Chemistry”**, 5th Ed., McGraw-Hill Book Company, 1972.

- **Richards, Cram, Hammond, "Elements of Organic Chemistry", McGraw-Hill, 1967.**
- **K.K. Sharma, D.S. Sharma, "Problems in Organic Chemistry", Vikas Publishing House Ltd., 1994.**
- **P. Yurkanis Bruice, "Organic Chemistry", Prentice - Hall, 1992.**
- **S. Zumdahl, "Chemical Principles", Houghton Mifflin, 3rd Ed., 1998.**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 1ου ΤΟΜΟΥ

1 ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

1.1 Αριθμός οξείδωσης.
Οξείδωση - Αναγωγή 20

1.2 Κυριότερα οξειδωτικά
σώματα - αναγωγικά
σώματα. Αντιδράσεις
οξειδοαναγωγής 39

1.3 Ηλεκτροχημεία.
Αγωγοί ρεύματος.
Ηλεκτρόλυση -
Μηχανισμός - Εφαρμογές 77

1.4 Νόμος ηλεκτρόλυσης.
Νόμοι Faraday -
Υπολογισμοί..... 103

Γνωρίζεις ότι:
«Τεχνητή φωτοσύνθεση».... 114

Ανακεφαλαίωση - Λέξεις κλειδιά	119
Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Προβλήματα	124



Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.