

# 2

## ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

### Σκοπός Εργαστηριακής Ασκήσης

Η παρατήρηση και η συστηματική μελέτη διαφορετικών τύπων μεταθετικών αντιδράσεων.

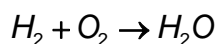
### Θεωρητικό Μέρος

#### Περιγραφή χημικών αντιδράσεων – χημικές εξισώσεις

Οι χημικές αντιδράσεις περιγράφονται με τις χημικές εξισώσεις.

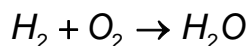
Κάθε χημική εξίσωση γράφεται σε δύο στάδια:

Στο πρώτο στάδιο γράφονται οι χημικοί τύποι των αντιδρώντων και των προϊόντων της αντίδρασης. Για παράδειγμα για να γραφεί η χημική εξίσωση της αντίδρασης του υδρογόνου με το οξυγόνο για τον σχηματισμό νερού, πρώτα γράφονται οι χημικοί τύποι των αντιδρώντων και των προϊόντων:

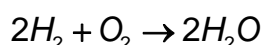


Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η ισοστάθμιση της εξίσωσης. Μια χημική εξίσωση είναι ισοσταθμισμένη, όταν ο αριθμός των ατόμων των στοιχείων που παίρνουν μέρος στην χημική αντίδραση, είναι ο ίδιος στο πρώτο και στο δεύτερο μέλος της χημικής εξίσωσης. Σε κάθε χημική αντίδραση ισχύει ο νόμος της αφθαρσίας της ύλης (διατήρησης της μάζας) δηλαδή η μάζα των αντιδρώντων είναι ίση με την μάζα των προϊόντων.

Η στοιχειομετρία μιας χημικής εξίσωσης πραγματοποιείται τοποθετώντας κατάλληλους συντελεστές, οι οποίοι ονομάζονται **στοιχειομετρικοί συντελεστές**, στους χημικούς τύπους των αντιδρώντων και των προϊόντων της χημικής εξίσωσης, έτσι ώστε ο αριθμός των ατόμων κάθε στοιχείου να είναι ίσος και στα δύο μέλη της χημικής εξίσωσης. Για παράδειγμα, αν στην εξίσωση:



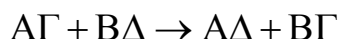
τοποθετηθούν οι συντελεστές 2 στο  $H_2$  και 2 στο  $H_2O$ :



η χημική εξίσωση είναι ισοσταθμισμένη: Για το υδρογόνο:  $2 \times 2 = 4$  άτομα ( $2H_2$ ) στο πρώτο μέλος και  $2 \times 2 = 4$  άτομα ( $2H_2O$ ) στο δεύτερο μέλος. Για το οξυγόνο: 2 άτομα ( $O_2$ ) στο πρώτο μέλος και 2 άτομα ( $2H_2O$ ) στο δεύτερο μέλος.

## A. Μεταθετικές Αντιδράσεις

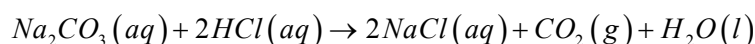
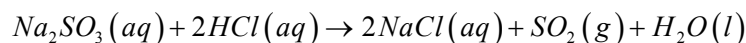
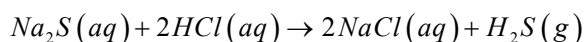
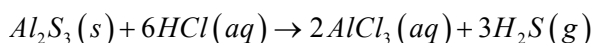
Μεταθετικές αντιδράσεις ή αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης καλούνται οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα δια ανταλλαγής ιόντων σύμφωνα με το παρακάτω γενικό σχήμα:



Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης συνήθως διεξάγονται ανάμεσα σε ηλεκτρολύτες εντός υδατικών διαλυμάτων και αποτελούν ουσιαστικά αντιδράσεις ανάμεσα στα ιόντα του διαλύματος. Πράγματι, όταν δύο υδατικά διαλύματα ευδιάλυτων ιοντικών ενώσεων αναμειχθούν μεταξύ τους και δεν είναι δυνατόν να λάβει χώρα οξειδοαναγωγική αντίδραση υπάρχουν δύο πιθανά ενδεχόμενα: να λάβει χώρα αντίδραση διπλής αντικατάστασης ή να μη γίνει καμιά αντίδραση. Η ωθούσα δύναμη για τις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης είναι πάντα η απομάκρυνση τουλάχιστον ενός ιοντικού ζεύγους από το διάλυμα με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

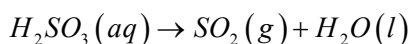
### Σχηματισμός αερίου

Τα θειούχα, θειώδη και ανθρακικά άλατα των μετάλλων αντιδρούν με οξέα και παράγουν αντιστοίχως τα αέρια  $H_2S$ ,  $SO_2$  και  $CO_2$ , όπως φαίνεται από τα παρακάτω τυπικά παραδείγματα:

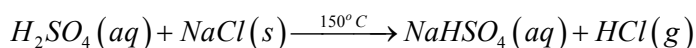


Τα άμεσα προϊόντα των αντιδράσεων των θειωδών και ανθρακικών αλάτων με οξέα είναι το θειώδες και ανθρακικό οξύ. Τα οξέα αυτά είναι ασταθή και γι' αυτό διασπώνται αμέσως προς τα αντίστοιχα όξινα οξείδια των αμετάλλων και νερό σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

Πίνακας 4.1. Ποιοτικός χαρακτηρισμός διαλυτότητας ηλεκτρολυτών	
Γενικά ευδιάλυτοι ηλεκτρολύτες	Εξαιρέσεις
Ενώσεις $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$	-
Χλωριούχες ενώσεις	<b>A:</b> $\text{AgCl}$ , $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ <b>E</b> σε ζεστό νερό: $\text{PbCl}_2$
Βρωμιούχες ενώσεις	<b>A:</b> $\text{AgBr}$ , $\text{Hg}_2\text{Br}_2$ , $\text{PbBr}_2$ <b>M.E:</b> $\text{HgBr}_2$
Ιωδιούχες ενώσεις	<b>A:</b> $\text{AgI}$ , $\text{Hg}_2\text{I}_2$ , $\text{PbI}_2$ , $\text{CuI}$
Θεικές ενώσεις	<b>A:</b> $\text{SrSO}_4$ , $\text{BaSO}_4$ , $\text{PbSO}_4$ , $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ <b>M.E:</b> $\text{CaSO}_4$ , $\text{Ag}_2\text{SO}_4$
Νιτρικές και Νιτρώδεις ενώσεις	<b>M.E:</b> $\text{AgNO}_2$
Χλωρικά, Υπερχλωρικά, Υπερμαγγανικά άλατα	<b>M.E:</b> $\text{KClO}_4$
Οξικά άλατα	<b>M.E:</b> $\text{AgCH}_3\text{COO}$
Γενικά αδιάλυτοι ηλεκτρολύτες	Εξαιρέσεις
Θειούχες ενώσεις	<b>E:</b> θειούχα άλατα $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$
Φθοριούχες ενώσεις	<b>E:</b> φθοριούχα άλατα $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Ag}^+$
Οξείδια, Υδροξείδια	<b>E:</b> Οξείδια και υδροξείδια $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ba}^{2+}$ <b>M.E:</b> Οξείδια και υδροξείδια $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$
Ανθρακικά, Φωσφορικά, Κυανιούχα, πυριτικά και θειώδη άλατα	<b>E:</b> τα άλατα των $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ και $\text{Li}^+$ εκτός του $\text{Li}_3\text{PO}_4$
A: Αδιάλυτος    M.E: Μετρίως διαλυτός    E: Ευδιάλυτος	

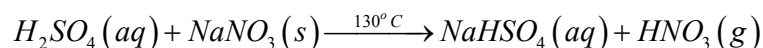


Γενικά, κάθε αντίδραση διπλής αντικατάστασης που οδηγεί σε σχηματισμό αερίου είναι δυνατόν να γίνει. Όταν, όμως, το σχηματιζόμενο αέριο είναι ευδιάλυτο στο νερό, για να γίνει η αντίδραση απαιτείται προσφορά θερμότητας, έτσι ώστε να ελαττωθεί η διαλυτότητά του και να διαφύγει του διαλύματος. Εξαιτίας αυτού του λόγου, κατά την επίδραση θεικού οξέος σε χλωριούχο νάτριο κάτω από συνήθεις συνθήκες δεν λαμβάνει χώρα καμιά αντίδραση, ενώ με θέρμανση διεξάγεται η παρακάτω αντίδραση:



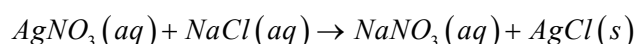
Αντίδραση διπλής αντικατάστασης είναι δυνατόν να γίνει ακόμα και όταν ένα από τα προϊόντα της αντίδρασης δεν είναι αέριο, κάτω από συνήθεις συνθήκες, αλλά η αντίδραση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία υψηλότερη του σημείου βρασμού του. Η βιομηχανική παρασκευή του νιτρικού οξέος γίνεται

με την παρακάτω αντίδραση διπλής αντικατάστασης, που διεξάγεται στους 130°C, δηλαδή 50°C παραπάνω από το σημείο βρασμού του νιτρικού οξέος (σ.ζ. 80°C).

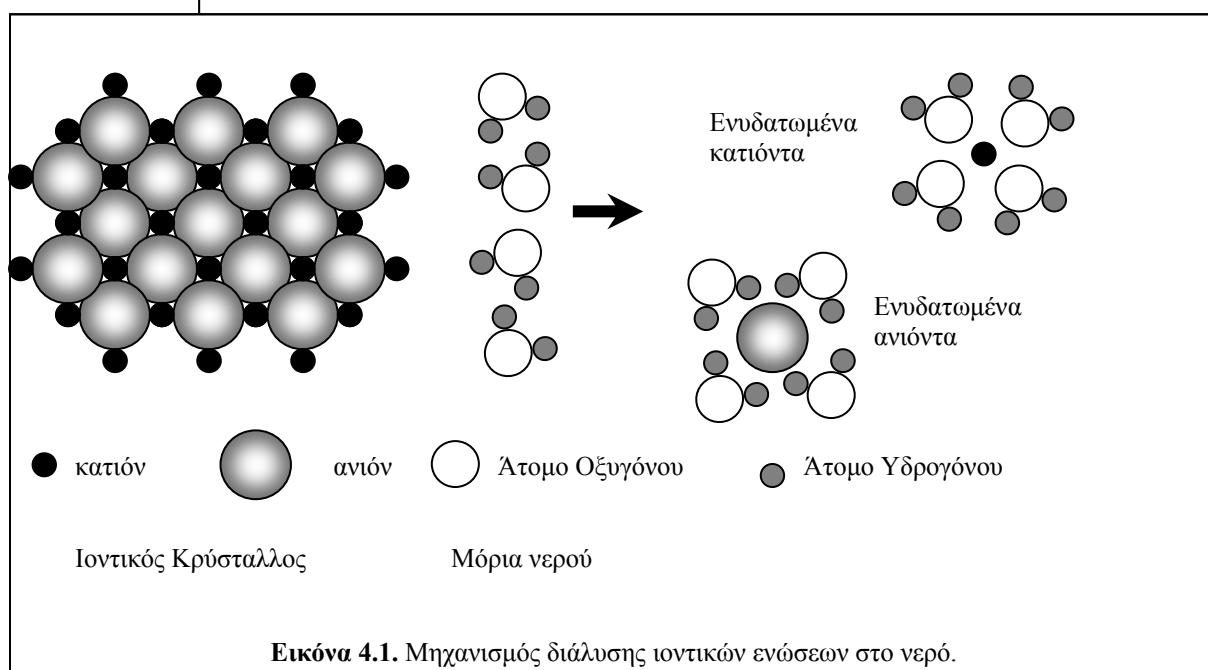


### Σχηματισμός δυσδιάλυτου προϊόντος

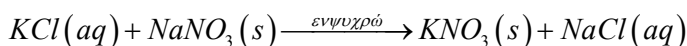
Η συνηθέστερη περίπτωση αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης είναι εκείνη κατά την οποία δύο από τα αντιδρώντα ιόντα του διαλύματος σχηματίζουν δυσδιάλυτο προϊόν, το οποίο συχνά αποκαλείται με τον όρο “ίζημα”. Ο σχηματισμός ιζήματος χρησιμοποιείται πολύ συχνά για την ανίχνευση, τον ποσοτικό προσδιορισμό και το διαχωρισμό διαφόρων ιόντων. Πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχουν τελείως αδιάλυτοι στο νερό ηλεκτρολύτες, αλλά ηλεκτρολύτες με μικρότερη (δυσδιάλυτοι) ή μεγαλύτερη (ευδιάλυτοι) διαλυτότητα στο νερό, χωρίς να υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ τους, διότι η μετάβαση από τους ευδιάλυτους στους δυσδιάλυτους ηλεκτρολύτες είναι συνεχής.



Στον πίνακα 1, δίνεται ο χαρακτηρισμός των συνηθέστερων ηλεκτρολυτών σε ευδιάλυτους (διαλυτότητα μεγαλύτερη από 0.1mol/L), μετρίως ευδιάλυτους (διαλυτότητα κυμαινόμενη μεταξύ 0.01-0.1mol/L) και αδιάλυτους (διαλυτότητα μικρότερη από 0.01mol/L).

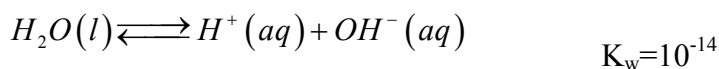


Τέλος, μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης είναι δυνατή και όταν ακόμα δεν σχηματίζεται ένα από τα ιζήματα του παρακάτω πίνακα, αλλά απλώς σώματα με διαφορετική διαλυτότητα. Σε αυτήν την περίπτωση, πάντα αποβάλλεται σαν ίζημα πρώτα ο ηλεκτρολύτης με τη μικρότερη διαλυτότητα. Η παρακάτω αντίδραση γίνεται εν ψυχρώ λόγω της αποβολής του λιγότερου διαλυτού  $KNO_3$ , ενώ εν θερμώ δεν λαμβάνει χώρα καμιά αντίδραση.

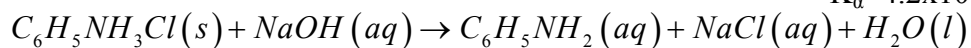
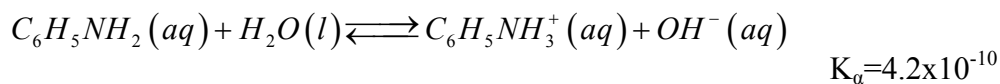
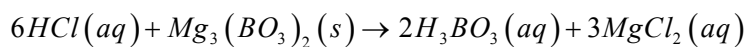
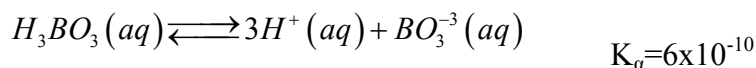


### Σχηματισμός νερού ή ασθενούς ηλεκτρολύτη

Όλες οι αντιδράσεις ανάμεσα στα οξέα και τις βάσεις είναι αναντίστροφες εξαιτίας της απομάκρυνσης των ιόντων  $H^+$  και  $OH^-$  μέσω του σχηματισμού νερού που είναι ένα πολύ ελαφρώς ιονιζόμενο μόριο, σύμφωνα με την αντίδραση αυτοδιάστασης του νερού.



Παρομοίως, οι αντιδράσεις διάλυσης ελαφρώς διαλυτού άλατος σε υδατικό διάλυμα ισχυρού οξέος ή βάσης πραγματοποιούνται πάντα επειδή έχουν ως ωθούσα δύναμη το σχηματισμό ενός ασθενούς ηλεκτρολύτη. Γενικά, όλες οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης που οδηγούν σε σχηματισμό ασθενούς ηλεκτρολύτη είναι θεωρητικώς δυνατές αντιδράσεις, όπως φαίνεται από τα παρακάτω παραδείγματα:



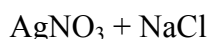
Όπως στην περίπτωση σχηματισμού νερού, έτσι και στην περίπτωση σχηματισμού ασθενούς ηλεκτρολύτη δεν υπάρχει φυσική απομάκρυνση ιόντων από το διάλυμα. Απλώς, λόγω του πολύ μικρού βαθμού ιονισμού του νερού και των ασθενών ηλεκτρολυτών, τα ιόντα από τα οποία σχηματίστηκαν το νερό και οι ασθενείς ηλεκτρολύτες δεν είναι πλέον ελεύθερα και άρα διαθέσιμα μέσα στο διάλυμα. Επομένως, κατά κάποιο τρόπο συμπεριφέρονται σαν να έχουν απομακρυνθεί από το διάλυμα.

## Β. Συστηματική Παρακολούθηση Μεταθετικών Αντιδράσεων

Για τη συστηματική παρακολούθηση μιας μεταθετικής αντίδρασης και τη γραφή των χημικών εξισώσεων που την περιγράφουν θα ακολουθηθούν σχολαστικά τα παρακάτω βήματα, τα οποία περιγράφονται ενδεικτικά για την περίπτωση αντίδρασης ανάμεσα σε υδατικά διαλύματα αλάτων νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ) και χλωριούχου νατρίου ( $\text{NaCl}$ ).

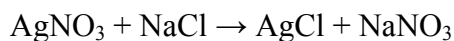
### ΒΗΜΑ 1: Καθορισμός των αντιδρώντων.

Καταγράφονται οι μοριακοί χημικοί τύποι των αντιδρώντων σωμάτων.



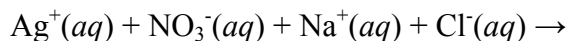
### ΒΗΜΑ 2: Προσδιορισμός των προϊόντων και γραφή της μοριακής χημικής εξίσωσης.

Καταγράφονται οι χημικοί τύποι των προϊόντων ανταλλάσσοντας τα κατιόντα με τα ανιόντα των αντιδρώντων. Η ισοσταθμισμένη (από άποψη μάζας) μοριακή χημική εξίσωση που περιγράφει την υπό μελέτη μεταθετική αντίδραση είναι:



### ΒΗΜΑ 3: Βαθύτερη ανάλυση της συμπεριφοράς των αντιδρώντων στο διάλυμα.

Ο νιτρικός άργυρος και το χλωριούχο νάτριο είναι ευδιάλυτα άλατα (εικόνα 4.2.α). Συνεπώς, τα υδατικά τους διαλύματα περιέχουν τα ενυδατωμένα κατιόντα και ανιόντα των δύο αλάτων, τα οποία συμπεριφέρονται εντός αυτών σαν ξεχωριστά ενυδατωμένα χημικά είδη σύμφωνα με το μηχανισμό διάλυσης αλάτων που απεικονίζεται στην εικόνα 4.1. Επομένως, είναι αδύνατο από χημικής απόψεως να περιγράφονται τα αντιδρώντα μέσω των μοριακών χημικών τύπων τους (όπως έγινε στο ΒΗΜΑ 2) και ορθότερο να περιγράφονται αυτά μέσω των χημικών τύπων των ιόντων έχοντας προσθέσει το δείκτη (aq) που υποδηλώνει την ενυδατωμένη κατάσταση τους (aqueous) στο διάλυμα.



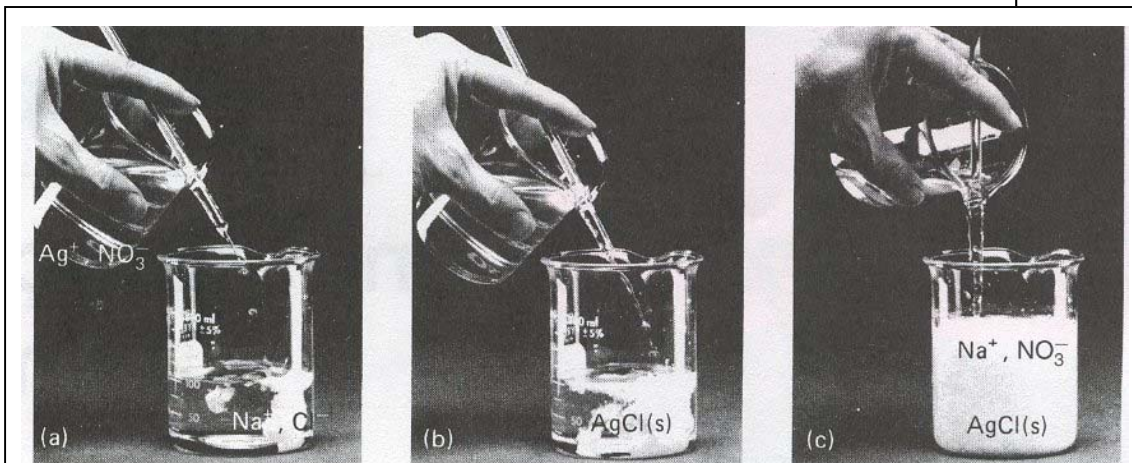
### ΒΗΜΑ 4: Παρακολούθηση της αντίδρασης.

Όταν τα δύο υδατικά διαλύματα αναμειχθούν μεταξύ τους, είναι δυνατό μέσω οπτικών παρατηρήσεων να γίνει αντιληπτό, εάν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση. Μια χημική αντίδραση μπορεί να γίνει αντιληπτή όταν:

- καταβυθίζεται στερεή φάση
- εκλύεται αέριο
- εκλύεται ή απορροφάται θερμότητα

- μεταβάλλεται το χρώμα
- μεταβάλλεται η οξύτητα ή η αλκαλικότητα
- εκπέμπεται φως

Στο παράδειγμα που αναλύεται σχηματίζεται το δυσδιάλυτο άλας χλωριούχος άργυρος, το οποίο καταβυθίζεται σαν λευκό ίζημα (εικόνα 4.2.β.).

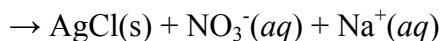


**Εικόνα 4.2.:** Τα στάδια της αντίδρασης μεταξύ διαλυμάτων νιτρικού αργύρου και χλωριούχου νατρίου.

#### **ΒΗΜΑ 5: Χημικοί τύποι των προϊόντων.**

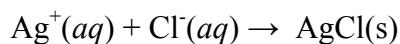
Εάν κατά τη διάρκεια της αντίδρασης σχηματίζεται δυσδιάλυτο στερεό σώμα, τότε αυτό γράφεται στα προϊόντα της αντίδρασης με το μοριακό χημικό τύπο του συνοδευόμενο πάντα από το δείκτη (s) που υποδηλώνει τη στερεή κατάσταση του (solid). Εάν σχηματίζεται αέριο, τότε αυτό γράφεται στα προϊόντα της αντίδρασης με το μοριακό χημικό τύπο του συνοδευόμενο πάντα από το δείκτη (g) που υποδηλώνει τη αέρια κατάσταση του (gas). Τα ιόντα που δεν συμμετέχουν στην αντίδραση γράφονται στα προϊόντα της, όπως στο ΒΗΜΑ 3.

Συνεπώς, στο υπό μελέτη παράδειγμα τα προϊόντα σώματα (εικόνα 4.1.γ.) γράφονται όπως φαίνεται παρακάτω:



#### **ΒΗΜΑ 6: Γραφή ιοντικής χημικής εξίσωσης.**

Για να γραφεί η ιοντική χημική εξίσωση που περιγράφει μια μεταθετική αντίδραση, συνδυάζονται τα Βήματα 3 και 5 παραλείποντας τα χημικά είδη (πχ. ιόντα) που δεν συμμετέχουν στην αντίδραση. Η εξίσωση αυτή θα πρέπει να ισοσταθμιστεί από απόψεως μάζας και φορτίων, δηλαδή θα πρέπει να περιέχει τον ίδιο αριθμό ατόμων από κάθε στοιχείο σε κάθε μέλος της και το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων να είναι το ίδιο και στα δύο μέλη της. Στο υπό μελέτη παράδειγμα η ιοντική χημική εξίσωση έχει ως ακολούθως:



## Συστηματική Μελέτη Μεταθετικών Αντιδράσεων

### Πειραματική Διαδικασία

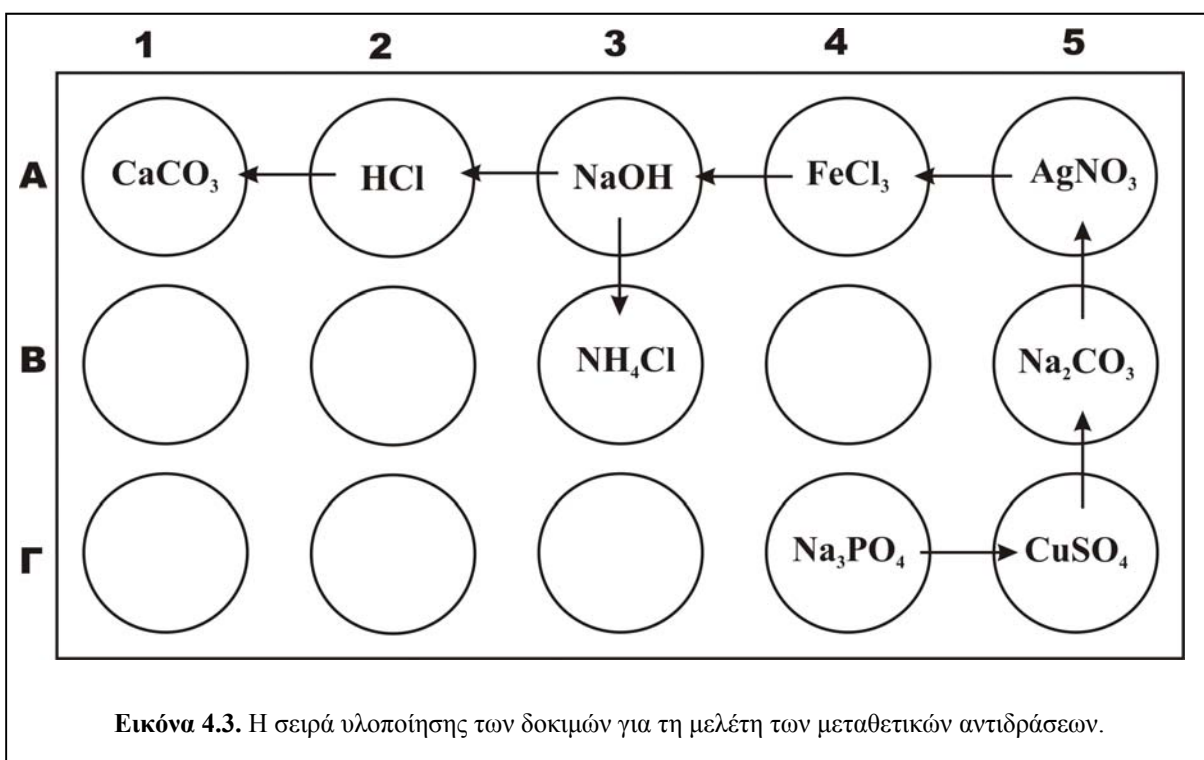
Τα αντιδραστήρια που καταγράφηκαν και αναγνωρίστηκαν στην προηγούμενη άσκηση χρησιμοποιούνται για την μελέτη των μεταθετικών αντιδράσεων. Σε πρώτο στάδιο δοκιμάζεται η διαλυτότητα των αντιδραστηρίων στο νερό, και παρασκευάζονται τα αντίστοιχα διαλύματα, τα οποία τοποθετούνται σε δοκιμαστικούς σωλήνες και σημαίνονται.

### Αντιδραστήρια

- A1 Κρύσταλλοι  $\text{CaCO}_3$
- A2 2 ml διαλύματος  $\text{HCl}$  0.3 M και σταγόνες δείκτη
- A3 2 ml διαλύματος  $\text{NaOH}$  3.0 M
- A4 Κρύσταλλοι  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  σε 2 ml νερού
- A5 Κρύσταλλοι  $\text{AgNO}_3$  σε 2ml νερού
- B3 Κρύσταλλοι  $\text{NH}_4\text{Cl}$
- B5 Κρύσταλλοι  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  σε 2 ml νερού
- Γ4 Κρύσταλλοι  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  σε 2 ml νερού
- Γ5 Κρύσταλλοι  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  σε 2 ml νερού

Στη συνέχεια τα διαλύματα που παρασκευάστηκαν και τα στερεά αντιδρούν ανά δύο (εικόνα 4.3). Τα στάδια

κάθε αντίδρασης καταγράφονται αναλυτικά στο πειραματικό φύλλο με βάση το παράδειγμα της εισαγωγής. Οι αντιδράσεις παρακολουθούνται και όλες οι μεταβολές που καταδεικνύουν ότι η αντίδραση πραγματοποιήθηκε (αλλαγή χρώματος, καταβύθιση, έκλυση αερίου κ.α.) σημειώνονται επίσης στο πειραματικό φύλλο.



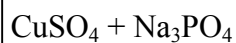
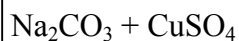
Εικόνα 4.3. Η σειρά υλοποίησης των δοκιμών για τη μελέτη των μεταθετικών αντιδράσεων.



Διαλυτότητα
CaCO <sub>3</sub> :
HCl :
NaOH :
NH <sub>4</sub> Cl :
FeCl <sub>3</sub> :
AgNO <sub>3</sub> :
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> :
CuSO <sub>4</sub> :
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> :

CaCO <sub>3</sub> + HCl
HCl + NaOH
NH <sub>4</sub> Cl + NaOH
NaOH + FeCl <sub>3</sub>

FeCl <sub>3</sub> + AgNO <sub>3</sub>
AgNO <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>



### Ζητούμενα

- A. Συντάξτε έκθεση εργαστηριακής άσκησης, η οποία να περιγράφει όλη την πειραματική διαδικασία.
- B. Χρησιμοποιείτε τα έξι βήματα που παρουσιάζονται στο θεωρητικό μέρος ως οδηγό μεθοδολογίας και γράψτε τις εξισώσεις που περιγράφουν τις χημικές αντιδράσεις που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης. Για κάθε αντίδραση περιγράψτε τα παρακάτω:

Καθορισμός των αντιδρώντων

Προσδιορισμός των προϊόντων - μοριακή χημική εξίσωση

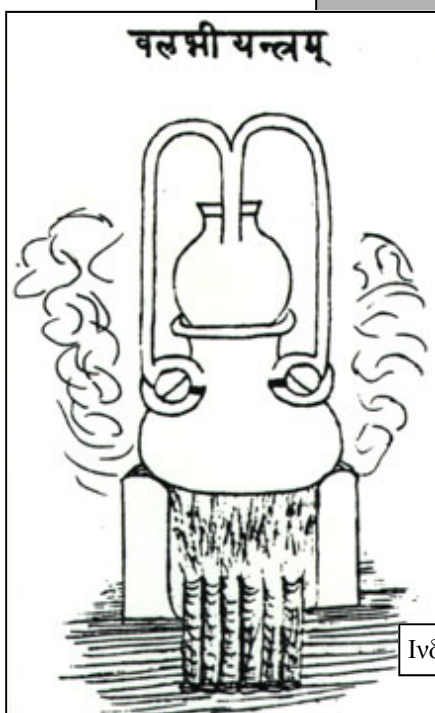
Χημικοί τύποι των αντιδρώντων στο διάλυμα

Παρακολούθηση της αντίδρασης

Χημικοί τύποι των προϊόντων

Ισοσταθμισμένη Ιοντική Χημική εξίσωση

- Γ. Εξηγήστε την σημασία της Ιοντικής Χημικής εξίσωσης



Ινδική συσκευή απόσταξης