



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ, ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ
ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Διδασκαλία Αντιδράσεων Διπλής Αντικατάστασης
στην Α΄ Λυκείου
εμπλουτισμένη με Ιοντικές Εξισώσεις
και Αναπαραστάσεις στα τρία επίπεδα Χημείας»**

ΛΑΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΧΗΜΙΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διδασκαλία Αντιδράσεων Διπλής Αντικατάστασης
στην Α΄ Λυκείου
εμπλουτισμένη με Ιοντικές Εξισώσεις
και Αναπαραστάσεις στα τρία επίπεδα Χημείας

ΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

A.M.:191103

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Μεθενίτης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μεθενίτης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

Σταμπάκη Δέσποινα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

Τσουρέας Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 23/02/2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο τρόπος διδασκαλίας των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μέσα σε υδατικά διαλύματα και έχουν σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό ιζήματος ή αερίου (οι επονομαζόμενες διπλής αντικατάστασης), όπως και της αντίδρασης εξουδετέρωσης μεταξύ οξέος και βάσης σε υδατικό διάλυμα, απασχολεί τους εκπαιδευτικούς χημικούς καθώς και τους ερευνητές της διδακτικής της Χημείας. Πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών εντοπίζουν ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών ιδεών των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που αφορούν κυρίως τη σωματιδιακή φύση των ενώσεων που λαμβάνουν μέρος στις αντιδράσεις αυτές και τις πραγματικές αλλαγές που συντελούνται μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων. Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, η θεματική αυτή περιοχή διδάσκεται στην Α΄ Λυκείου και έχει υιοθετηθεί η χρήση μοριακών εξισώσεων για τη διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών. Θεωρούμε ότι ο τρόπος αυτός δημιουργεί περισσότερες παρανοήσεις στα δύο προαναφερθέντα ζητήματα. Εκτιμούμε – από τις βιβλιογραφικές αναφορές αλλά και την εμπειρία μας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση - ότι ο τρόπος αυτός μπορεί μεν να βοηθά τον μαθητή να συμπληρώσει σωστά μια χημική εξίσωση, όμως αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας μηχανιστικά συγκεκριμένα βήματα. Ο μαθητής δηλαδή κινείται σχετικά άνετα στο συμβολικό επίπεδο της χημικής εξίσωσης αφού η διδασκαλία εστιάζεται σε αυτό, δεν αντιλαμβάνεται όμως το τι αντιπροσωπεύει η εξίσωση μακροσκοπικά και κυρίως υπομικροσκοπικά. Η έλλειψη αυτής της βαθύτερης κατανόησης ήταν η αιτία δημιουργίας από μέρους μας, μιας διδακτικής πρότασης πέντε μαθημάτων με δύο κύρια χαρακτηριστικά: i)την ευρεία χρήση υπομικροσκοπικών και μακροσκοπικών αναπαραστάσεων σε σύνδεση με τις συμβολικές αναπαραστάσεις ώστε ο μαθητής να αποκτήσει μια καλύτερη γνώση της σωματιδιακής φύσης των ενώσεων που παίρνουν μέρος στην αντίδραση, ii)την εκμάθηση του περάσματος από τη μοριακή στην ιοντική εξίσωση και κατόπιν στην καθαρά ιοντική ώστε ο μαθητής να διακρίνει ποιες χημικές αλλαγές πράγματι συμβαίνουν. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της πρότασης πραγματοποιήθηκε έρευνα (μέρος της οποίας υλοποιήθηκε εξ αποστάσεως λόγω Covid19), στην οποία συμμετείχαν 137 μαθητές της Α΄ Λυκείου χωρισμένοι σε δύο ομάδες. Η ομάδα ελέγχου διδάχθηκε τις αντιδράσεις με μοριακές εξισώσεις και η πειραματική ομάδα διδάχθηκε την προτεινόμενη προσέγγιση. Οι μαθητές συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο πριν και μετά τη διδασκαλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πειραματική ομάδα απέκτησε μια βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου της χημικής αντίδρασης.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διδακτική της Χημείας

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης, αντιδράσεις εξουδετέρωσης, αναπαραστάσεις, μοριακές εξισώσεις, ιοντικές και καθαρά ιοντικές εξισώσεις

ABSTRACT

The way of teaching the reactions that take place in aqueous solutions and result in the formation of a precipitate or a gas (the so-called double replacement reactions), as well as the neutralization reaction between an acid and a base in an aqueous solution, concerns chemical education researchers and chemical educators. Numerous bibliographic references highlight a large number of alternative conceptions of secondary school students that mainly concern both the particulate nature of the compounds that take part in these reactions and the real changes that take place between reactants and products. In the Greek educational system, this thematic area is taught in the 10th grade of High School and the use of molecular equations has been adopted to teach these reactions. We believe that this way creates more misconceptions in the two aforementioned issues. We estimate - from the bibliographic references as well as our experience in secondary education - that this way can help the student to correctly complete a chemical equation, but this is achieved by mechanistically applying specific steps. In other words, the students are familiar with the symbolic level of the chemical equation, since the teaching is focused on it, but they do not understand what the equation represents macroscopically and mostly submicroscopically. The lack of this deeper understanding was the reason behind our proposal of a course consisting of 5 lectures, emphasizing on two main features: i) the wide use of submicroscopic and macroscopic representations in connection to symbolic representations so that the student acquires a better knowledge of the particulate nature of the compounds taking part in the reaction, ii) learning the passage from the molecular equation to the total ionic equation and then to the net ionic equation, so that the student can distinguish which chemical changes actually occur. The effectiveness of the suggested approach was evaluated through a research (part of which was implemented remotely due to Covid19). 137 students from the 10th grade of high school participated in the present research, divided into two groups. The control group was taught the reactions using molecular equations and the experimental group was taught the proposed approach. The students filled in a questionnaire before and after the course. The results showed that the experimental group gained a deeper understanding of the chemical reaction phenomenon.

SUBJECT AREA: Chemistry education

KEYWORDS: double replacement reaction, neutralization reaction, representations, molecular equation, total ionic and net ionic equation.

**Στους γονείς μου,
Μάγδα και Φανούρη
που εκτιμούσαν την αξία της γνώσης.**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κώστα Μεθενίτη για τις πολύτιμες συμβουλές του και την συνεχή υποστήριξή του, από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Για τον χρόνο που αφιέρωσε στις ενδιαφέρουσες συζητήσεις μας. Περισσότερο όμως, για την εμπύχωση που μου προσέφερε στις δύσκολες στιγμές αυτής της διαδρομής.

Την αναπληρώτρια καθηγήτρια κα. Σταμπάκη – Χατζηπαναγιώτη Δ. και τον επίκουρο καθηγητή κ. Τσουρέα Ν. για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή και την αξιολόγηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Σάλτα Κ., ΕΔΙΠ του τμήματος Χημείας, για την χρήσιμες συμβουλές της πάνω στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και γενικότερα τη βοήθεια που πρόθυμα μου προσέφερε.

Αισθάνομαι όμως την ανάγκη να ευχαριστήσω όλες τις καθηγήτριες και τους καθηγητές του ΔιΧηNET-EAA για το έργο που προσφέρουν στην ανάπτυξη της Διδακτικής της Χημείας στην Ελλάδα και για τη δυνατότητα που δίνουν στους φοιτητές τους, να προχωρήσουν στις ερευνητικές τους αναζητήσεις.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους καθηγητές της δευτεροβάθμιας, Γιώργο, Πέτρο και Χάρη για τη συμβολή τους στην εργασία με τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου γιατί σε όλη αυτή τη διαδρομή δεν ένοιωσα καμμία στιγμή μόνος. Στη σύζυγό μου Ελένη για την αμέριστη συμπαράσταση της και την ανεξάντλητη υπομονή της. Στα παιδιά μου, Στέφανο και Μάγδα για την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν, ο καθένας με το δικό του τρόπο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	19
1.1 Η επιστήμη της Χημείας και οι χημικές αναπαραστάσεις: μια διαλεκτική σχέση	19
1.2 Τα είδη των χημικών αναπαραστάσεων.....	23
1.2.1 Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις.....	23
1.2.2 Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις.....	25
1.2.3 Συμβολικές αναπαραστάσεις.....	27
1.3 Η χρήση τους στην εκπαίδευση.....	28
1.4 Τα παιδιά βλέπουν μια χιονόμπαλα – Δυσκολίες, παρανοήσεις μαθητών.....	30
1.4.1 Παρανοήσεις στην ερμηνεία των αναπαραστάσεων.....	32
1.4.2 Δυσκολίες στη μετάφραση.....	33
1.5 Για τη σωστή χρήση των αναπαραστάσεων - Προτάσεις.....	35
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	39
2.1 Γενικά για τις χημικές εξισώσεις.....	39
2.2 Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Παρανοήσεις μαθητών.....	39
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	45
3.1 Αναγκαιότητα της έρευνας.....	45
3.2 Σκοπός, ερευνητικές υποθέσεις και ερωτήματα.....	47
3.2.1 Σκοπός.....	47
3.2.2 Ερευνητικές υποθέσεις.....	47
3.2.3 Ερευνητικά ερωτήματα.....	48
3.3 Επιγραμματική περιγραφή της έρευνας.....	49
3.4 Το σχέδιο έρευνας.....	50
3.4.1 Ο Πειραματικός σχεδιασμός.....	50
3.4.2 Επιλογή σχεδίου για τη συγκεκριμένη έρευνα: το σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου, ένα οιονεί πειραματικό σχέδιο.....	55
3.4.3 Εγκυρότητα της συγκεκριμένης έρευνας.....	56

3.5	Σχέδια μαθημάτων και πρότερες ενέργειες.....	60
3.5.1	Πρότερες ενέργειες και για τις δύο ομάδες.....	61
3.5.2	Η αλληλουχία μαθημάτων της προτεινόμενης μεθόδου. 1 ^η διδακτική ώρα: Οξέα, βάσεις, άλατα και τα υδατικά τους διαλύματα.....	62
3.5.3	2 ^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης	72
3.5.4	3 ^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Εξουδετέρωση.....	76
3.5.5	4 ^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης με ιοντικές εξισώσεις.....	78
3.5.6	5 ^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης με ιοντικές εξισώσεις.....	86
3.5.7	Η αλληλουχία μαθημάτων της ομάδας Ελέγχου.....	90
3.6	Εργαλεία της έρευνας.....	92
3.6.1	Το ερωτηματολόγιο και η εγκυρότητά του.....	92
3.6.2	Στόχοι των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου	93
3.6.3	Η διδακτική παρέμβαση	93
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	95
4.1	Μεθοδολογία – Ορισμός μεταβλητών.....	95
4.2	Περιγραφή της έρευνας	95
4.2.1	Το δείγμα	95
4.2.2	Τα βήματα της έρευνας.....	96
4.3	Ανάλυση αποτελεσμάτων προελέγχου και μετα-ελέγχου	97
4.3.1	Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία	97
4.3.2	Σύγκριση ανάμεσα στη «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις»	100
4.3.3	Σύγκριση ανάμεσα στη «Βαθμολογία μετά» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Βαθμολογία μετά» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις»	104
4.3.4	Σύγκριση ανάμεσα στη «Διαφορά μετά-πριν» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Διαφορά μετά-πριν» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις».....	108

4.4	Συμπεράσματα από την ανάλυση αποτελεσμάτων στις επιμέρους ερωτήσεις. Ανάδειξη παρανοήσεων.....	112
4.4.1	Ερώτηση 1.....	112
4.4.2	Ερώτηση 2.....	115
4.4.3	Ερώτηση 3.....	117
4.4.4	Ερώτηση 4.....	119
4.4.5	Ερώτηση 5.....	121
4.4.6	Ερώτηση 6.....	123
4.4.7	Ερώτηση 7.....	125
4.4.8	Ερώτηση 8.....	127
4.4.9	Ερώτηση 9.....	129
4.4.10	Ερώτηση 10.....	131
4.5	Η συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων	135
4.6	Συμπέρασμα.....	138
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	141
5.1	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	141
5.2	Προτάσεις για τη διδασκαλία	145
6.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	147
7.	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	149
8.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	151
9.	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	157

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Το τρίγωνο του Johnstone, από το άρθρο του You Can't get there from Here ²	19
Σχήμα 2: Ο "κλασικός" πειραματικός σχεδιασμός	51
Σχήμα 3: Ο οιονεί πειραματικός σχεδιασμός της έρευνας: το «σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου»	56
Σχήμα 4: Ράβδοι σφάλματος του Μ.Ο. βαθμολογίας στο τεστ πριν και στο τεστ μετά...99	
Σχήμα 5: Ιστογράμματα για τη «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων.....	100
Σχήμα 6: Q-Q γραφήματα για τη «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων	101
Σχήμα 7: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων	104
Σχήμα 8: Ιστογράμματα για τη «Βαθμολογία μετά» των δύο ομάδων.....	105
Σχήμα 9: Q-Q γραφήματα για τη «Βαθμολογία μετά» των δύο ομάδων	105
Σχήμα 10: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων	108
Σχήμα 11: Ιστογράμματα για τη «Διαφορά (μετά-πριν)» των δύο ομάδων	109
Σχήμα 12: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Διαφορά μετά-πριν» των δύο ομάδων .	111
Σχήμα 13: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 1 ..	115
Σχήμα 14: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 2. .	116
Σχήμα 15: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 3. .	119
Σχήμα 16: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 4 ..	121
Σχήμα 17: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 5 ..	123
Σχήμα 18: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 6 ..	125
Σχήμα 19: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 7 ..	127
Σχήμα 20: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 8 ..	129
Σχήμα 21: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 9 ..	131
Σχήμα 22: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 10	135
Σχήμα 23: Συγκεντρωτικά ποσοστά σωστών απαντήσεων όλων των ερωτήσεων	136

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σκίτσο της <i>Marie Anne</i> , συζύγου του <i>A. Lavoisier</i> από το κλασσικό έργο του "Traité elementaire de Chimie" (Cuchet, Paris 1789). ⁶	21
Εικόνα 2: Μακροσκοπική αναπαράσταση αντιδράσεων σχηματισμού ενώσεων του Mn με διαφορετικό αριθμό οξειδωσης. Από πείραμα στο σχολικό εργαστήριο	23
Εικόνα 3: Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις από εμπειρία στο εργαστήριο: α) παρασκευή σαπουνιού β) μπαταρία απο πορτοκάλια γ) υποβρύχια φλόγα δ) παραγωγή CO ₂ . Από εργαστηριακές ασκήσεις που πραγματοποιήσαμε στο σχολικό εργαστήριο.....	24
Εικόνα 4: Απόσπασμα πίνακα από το βιβλίο των Campbell & Stanley	57
Εικόνα 5: Απόσπασμα απο το σχολικό βιβλίο της Α΄ Λυκείου ⁴⁰	128

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας	25
Πίνακας 2: Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας	25
Πίνακας 3: Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις: μοριακά μοντέλα αιθανικού οξέος.....	26
Πίνακας 4. α:σύμπλεξη λοσαρτάνης σε κυκλοδεξτρίνη (σχεδιασμός φαρμάκου) ¹⁴ , β-γ-δ: διαφορετικές 3D απεικονίσεις μυσφαιρίνης	26
Πίνακας 5: Συμβολικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας	28
Πίνακας 6: Αναπαραστάσεις του ιοντικού δεσμού	41
Πίνακας 7: Αναπαράσταση με χαρακτηριστικά μοριακής και ιοντικής εξίσωσης.....	43
Πίνακας 8: Αναπαραστάσεις φοιτητών για αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.....	44
Πίνακας 9: Από το σχολικό βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου ⁴⁹	45
Πίνακας 10: Από το σχολικό βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου ⁴⁹	45
Πίνακας 11: Σχήματα σχολικού βιβλίου και ασκήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα μαθήματα.....	61
Πίνακας 12: Σχέδιο μαθήματος 1ης διδακτικής ώρας	62
Πίνακας 13: Σχέδιο μαθήματος 2 ^{ης} διδακτικής ώρας.....	72
Πίνακας 14: Σχέδιο μαθήματος της 3ης διδακτικής ώρας	76
Πίνακας 15: Σχέδιο μαθήματος 4ης διδακτικής ώρας	79
Πίνακας 16: Σχέδιο μαθήματος 5ης διδακτικής ώρας	86
Πίνακας 17. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας	98
Πίνακας 18: Ελεγχος κανονικότητας για τις κατανομές της «BπρινI» και «BπρινM»	100
Πίνακας 19: Περιγραφικά στατιστικά για τις 2 μεθόδους κατά τον προέλεγχο	102
Πίνακας 20: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα κατά τον προέλεγχο.....	102
Πίνακας 21: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap.....	103
Πίνακας 22: Ελεγχος κανονικότητας για τις κατανομές της "BμετάI" και "Bμετά M"	104

Πίνακας 23: Περιγραφικά στατιστικά για τις 2 μεθόδους κατά τον μετα-έλεγχο	106
Πίνακας 24: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα κατά τον μετα-έλεγχο	107
Πίνακας 25: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap για τη μεταβλητή «Βαθμολογία μετά»	107
Πίνακας 26: Έλεγχοι κανονικότητας για τη "Διαφορά (μετά-πριν)".....	108
Πίνακας 27: Περιγραφικά στατιστικά για τη μεταβλητή "Διαφορά (μετά -πριν)" των 2 ομάδων.....	109
Πίνακας 28: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα για τη μεταβλητή "Διαφορά (μετά-πριν)" των 2 ομάδων	110
Πίνακας 29: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap για τη μεταβλητή «Διαφορά μετά-πριν»	110
Πίνακας 30: Αποτελέσματα του Mann-Whitney U test	111
Πίνακας 31: Σχετική συχνότητα απαντήσεων για την ερώτηση 1.	113
Πίνακας 32: Σχετική συχνότητα απαντήσεων για την ερώτηση 2.	115
Πίνακας 33: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 3.....	118
Πίνακας 34: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 4.....	119
Πίνακας 35: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 5.....	122
Πίνακας 36: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 6.....	124
Πίνακας 37: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 7.....	126
Πίνακας 38: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 8.....	127
Πίνακας 39: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 9.....	130
Πίνακας 40: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 10.....	133
Πίνακας 41: Πίνακας Ορολογίας.....	149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

1.1 Η επιστήμη της Χημείας και οι χημικές αναπαραστάσεις: μια διαλεκτική σχέση

Στην πραγματικότητα, συμβαίνει και στη Χημεία ό,τι και στην αρχιτεκτονική: τα «όμορφα» οικοδομήματα, δηλαδή τα συμμετρικά και απλά, είναι και τα πιο στιβαρά. Το ίδιο συμβαίνει με τα μόρια όπως και με τους τρούλους των καθεδρικών ναών ή τις καμάρες των γεφυρών. (Primo Levi 1985)

Η Χημεία είναι η επιστήμη που μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά της ύλης. Για να πάρει απαντήσεις στα ερωτήματα που τίθενται, στρέφεται στα υπομικροσκοπικά σωματίδια που αποτελούν τα δομικά στοιχεία της ύλης, μελετά τη σύνθεση, τη δομή, την κίνηση και τις αλληλεπιδράσεις τους. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθεί να εξηγήσει φαινόμενα που αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας, φαινόμενα του μακρόκοσμου, αναζητώντας τις αιτίες στον μικρόκοσμο. Την ίδια στιγμή κατασκευάζει τη δική της γλώσσα, τα δικά της σύμβολα για να μπορεί να επικοινωνήσει έννοιες και ιδέες της. Συνεπώς κινείται σε τρία επίπεδα: το μακροσκοπικό, το υπομικροσκοπικό και το συμβολικό.

Ο Johnstone^{1,2} αναφέρεται σε αυτά τα τρία διακριτά πλην όμως αλληλένδετα επίπεδα και σχηματίζοντας ένα τρίγωνο υποστηρίζει ότι «Η νέα Χημεία έχει τρία βασικά συστατικά: τη μακροχημεία του απτού, βρώσιμου, ορατού· την υπομικροχημεία της μοριακής, ατομικής και κινητικής· την αναπαραστατική Χημεία των συμβόλων, των εξισώσεων, της στοιχειομετρίας και των μαθηματικών».

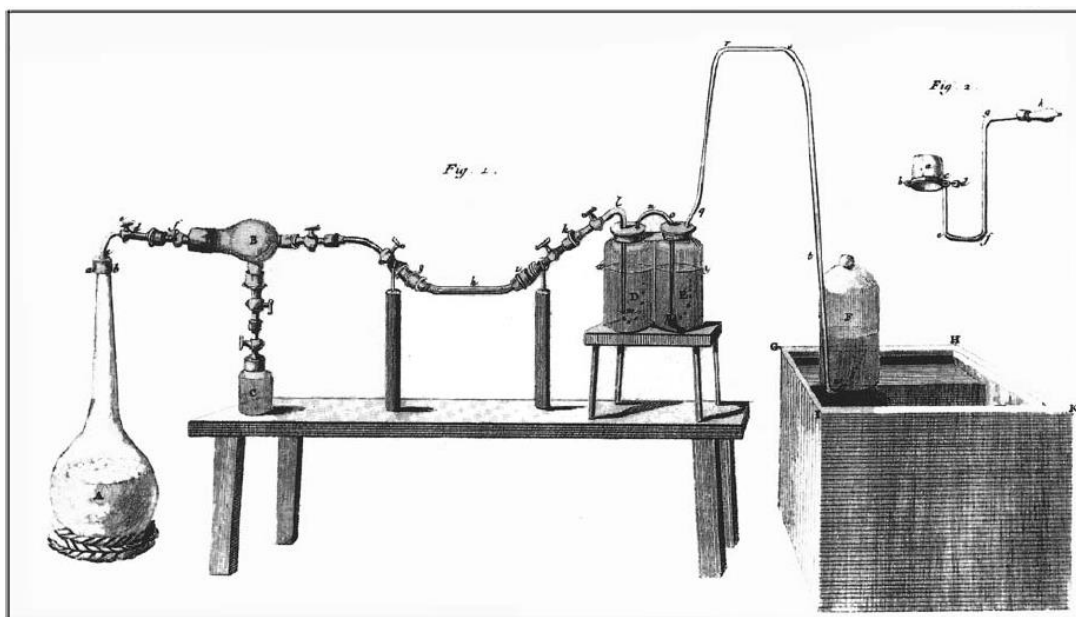


Σχήμα 1: Το τρίγωνο του Johnstone, από το άρθρο του You Can't get there from Here²

Πιο αναλυτικά³, το μακροσκοπικό επίπεδο έχει σα βάση την παρατήρηση: ό,τι βλέπουμε, αγγίζουμε, παρατηρούμε. Περιλαμβάνει φυσικές καταστάσεις, χρώματα, ιζήματα, παραγωγή αερίου, φυσικές μεταβολές, χημικές μεταβολές, θερμοκρασίες, όγκους κ.α.

Το υπομικροσκοπικό σωματιδιακό επίπεδο περιλαμβάνει: άτομα, ιόντα, μόρια, δυνάμεις, έλξεις, συγκρούσεις σωματιδίων, μοντέλα που χρησιμοποιούν οι χημικοί, 3D οπτικοποιήσεις, δομές πλεγμάτων, μεταβολές σε σωματίδια, μεταβολές σε αριθμούς σωματιδίων. Τέλος το συμβολικό επίπεδο είναι η χρήση της χημικής γλώσσας, των συμβόλων και του κειμένου για να επικοινωνούμε ιδέες. Περιλαμβάνει εξισώσεις, τύπους, υπολογισμούς και σύμβολα.

Οι Kozma και Russel⁴ κάνοντας μια ιστορική αναδρομή, διαπιστώνουν ότι ο ρόλος των αναπαραστάσεων και των τεχνολογιών απεικόνισης είναι κεντρικός για την ανάπτυξη της ίδιας της επιστήμης της Χημείας. Υπήρχε πάντοτε μια ισχυρή σχέση μεταξύ της κατανόησης των χημικών φαινομένων από τους χημικούς και των εξωτερικών αναπαραστάσεων που χρησιμοποιούν για να τα εκπροσωπήσουν. Νέες θεωρίες και νέοι τρόποι προσέγγισης αντιστοιχούν σε νέες αναπαραστάσεις. Και αυτές με τη σειρά τους διαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι χημικοί σκέφτονται και ασκούν την επιστήμη τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεγάλη αλλαγή που πραγματοποιείται στα τέλη του 18^{ου} αιώνα. Πριν τον Lavoisier η συνήθης πειραματική πρακτική ήταν η διεξαγωγή ποιοτικών πειραμάτων (όπως η παρατήρηση ότι ένα κόκκινο ορυκτό μετατράπηκε κατά τη θέρμανσή του σε αργυρό υγρό). Αυτό συνδεόταν με το γεγονός ότι οι χημικές ουσίες ονομάζονταν με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες. Ο HgS ένα κόκκινο στερεό, ονομαζόταν vermilion (σημαίνει λαμπρό ερυθρό χρώμα), ενώ ο Hg quicqsilver (γρήγορο ασήμι). Αντίθετα ο Lavoisier ή ο σύγχρονός του Guyton de Morveau με τους συνεργάτες του, όπως καταγράφει ο Anderson⁵ αναπτύσσουν ένα σύστημα ονοματολογίας βασισμένο στη στοιχειακή σύνθεση και όχι στις φυσικές ιδιότητες. Για τον Lavoisier η σύνδεση μεταξύ των νέων επιστημονικών πρακτικών και των αλλαγών στη γλώσσα, ήταν σαφής. Συγκεκριμένα, η ονομασία μιας ουσίας απαιτούσε την πειραματική αποσύνθεση της, ώστε να είναι δυνατή η ταυτοποίηση των συστατικών στοιχείων. Έτσι το σύστημα της γλώσσας και των συμβόλων, η εξέλιξη του χημικού τύπου, αντιστοιχούσαν στις πειραματικές διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο για να συνθέσουν τις χημικές ενώσεις. Αυτό σημαίνει ότι είχε δημιουργηθεί ένας νέος τρόπος σκέψης για τη Χημεία.



Εικόνα 1: Σκίτσο της *Marie Anne*, συζύγου του *A. Lavoisier* από το κλασσικό έργο του "*Traité elementaire de Chimie*" (Cuchet, Paris 1789).⁶

Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα φυσικά τρισδιάστατα δομικά μοντέλα που ανέπτυξαν οι χημικοί μεταξύ της δεκαετίας του 1930 και των μέσων της δεκαετίας του 1960 με μπάλες και ραβδιά και έκαναν τη διάταξη των στοιχείων στον χώρο πιο σαφή ενώ επέτρεψαν την περιστροφή και την επιθεώρηση του μορίου. Με την έλευση εξελιγμένων υπολογιστών και λογισμικού μοριακής μοντελοποίησης που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960, ήταν εύκολο να κατασκευαστούν μοντέλα μπάλας και ραβδιού, πλήρωσης χώρου και πυκνότητας ηλεκτρονίων ακόμη και για πολύ μεγάλα μόρια. Τέτοια διαδραστικά μοριακά γραφικά αντικατέστησαν τα φυσικά μοντέλα. Το πλεονέκτημα των προγραμμάτων μοντελοποίησης υπολογιστών είναι ότι υποστηρίζουν πρόσθετες αναλύσεις, όπως η μέτρηση των μηκών δεσμών και των γωνιών. Σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης πιο εκλεπτυσμένων και ουσιαστικών μοντέλων, οι νέες αναπαραστάσεις παρείχαν νέες χημικές πρακτικές και νέους τρόπους σκέψης για τη Χημεία, όπως ζητήματα χειρομορφίας, στερικών παραγόντων και ηλεκτρονιόφιλων ή πυρηνόφιλων κέντρων. Με τα αποτελέσματα των νέων εργαλείων (χρωματογράφοι, υπέρυθρα φάσματα, φάσματα NMR, φάσματα μάζας), οι χημικοί μπορούν να συγκρίνουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά συμβολικών εκφράσεων, όπως είναι οι κορυφές στα φάσματα και να εξάγουν συμπεράσματα για τη μοριακή δομή της ένωσης. Δηλαδή μπορούν εύκολα να περάσουν από τη μια μορφή αναπαράστασης (το φάσμα) σε μια άλλη (τη μοριακή δομή). Ή αλλιώς από το συμβολικό επίπεδο στο υπομικροσκοπικό (μοριακό και αόρατο) του τριγώνου του Johnstone.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η Χημεία είναι μια έμφυτα οπτική, αναπαραστατική και συμβολική επιστήμη, όπου η κατανόησή της βασίζεται στο να αποκτήσει νόημα το

αόρατο και το ανέγγιχτο. Δηλαδή, η κατανόησή της βασίζεται στην οπτικοποίησή της⁷. Ο Gilbert⁸ μελετώντας την οπτικοποίηση, θέτει το αρχικό ερώτημα: τι εννοούμε με τον όρο αυτόν; Ο Reiserberg διακρίνει τρία είδη οπτικοποιήσεων: α) την οπτική αντίληψη (visual perception), με την έννοια της εικόνας του αντικειμένου που σχηματίζεται όταν το βλέπουμε (εξωτερική αναπαράσταση), β) την οπτική απεικόνιση (visual imagery ενώ άλλοι χρησιμοποιούν τον όρο mental imagery), με την έννοια της νοητικής παραγωγής μιας εικόνας (νοητική εικόνα ή εσωτερική αναπαράσταση) ενός αντικειμένου κατά την απουσία του και γ) την «χωρική εικόνα», υπό την έννοια της παραγωγής μιας νοητικής αναπαράστασης ενός αντικειμένου με απτικά μέσα (προφανώς πρόκειται για ένα ειδικό είδος οπτικοποίησης). Οι Chambers και Reiserberg⁹ υποστηρίζουν ότι, αν και πολλές πρόσφατες έρευνες έχουν τονίσει την ισοδυναμία μεταξύ της οπτικής αντίληψης και της οπτικής απεικόνισης, υπάρχουν κρίσιμες διαφορές μεταξύ αυτών των δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η εξωτερική αναπαράσταση που ξεκινά από ένα εξωτερικό ερέθισμα, ασχολείται σε μεγάλο βαθμό με την ερμηνεία αυτού του ερεθίσματος. Αντίθετα, οι εσωτερικές αναπαραστάσεις δημιουργούνται ως σύμβολα ενός «κάτι» και ως εκ τούτου δεν χρειάζονται ερμηνευτική διαδικασία. Γι' αυτό και δεν επιτρέπουν την ανακατασκευή αφού δεν υφίσταται διαδικασία κατασκευής.

Παρά τις διαφορές που μπορεί κανείς να εντοπίσει μεταξύ των δύο ειδών οπτικοποίησης είναι γεγονός ότι οι δύο αυτές λειτουργίες περιλαμβάνουν παρόμοιες νοητικές διαδικασίες και είναι αμοιβαία υποστηρικτικές. Ο Gilbert⁸ υποστηρίζει ότι μπορεί αυτές οι διαφορές να είναι σημαντικές για τους ψυχολόγους, είναι όμως πιθανώς μικρότερης σημασίας για την άσκηση της επιστήμης ή για το έργο των εκπαιδευτικών.

Η Habraken θεωρεί την Χημεία ως την πιο «οπτική» επιστήμη και αυτό εξηγεί το γεγονός ότι έχει εξελιχθεί σε μια επιστήμη που είναι ιδιαίτερα δεμένη με τη οπτικο-χωρική νοημοσύνη. Γι' αυτήν είναι προφανές ότι η ύπαρξη της εικονογραφικής γλώσσας της Χημείας είναι μια σαφής εκδήλωση του θεμελιώδους ρόλου της εννοιολογικής οπτικο-χωρικής σκέψης στη Χημεία. Οι χημικοί αναγκάστηκαν να τη χρησιμοποιήσουν! Πώς αλλιώς θα ήταν δυνατό να προχωρήσουν σε ένα πεδίο όπου κυριαρχεί η τρισδιάστατη φύση του. Όταν οι χημικοί μιλούν για Χημεία, όπως την αποκαλούν οι ίδιοι οι χημικοί, μιλούν για μόρια ή για ουσίες, και ενώ σκέφτονται τη Χημεία, σκέφτονται με όρους εικόνων. Σήμερα, στη χημική γραφή, οι εικόνες μορίων και ουσιών δεν απεικονίζουν απλώς τρισδιάστατες μορφές, σχήματα ή δομές. Αυτές οι εικονογραφικές αναπαραστάσεις προσδιορίζουν και χαρακτηρίζουν επίσης ιδιότητες και χημικές αντιδράσεις. Στην πραγματικότητα, οι χημικοί αναζητούν εικονογραφικές αναπαραστάσεις για να συνοψίσουν τις χημικές ιδιότητες.¹⁰

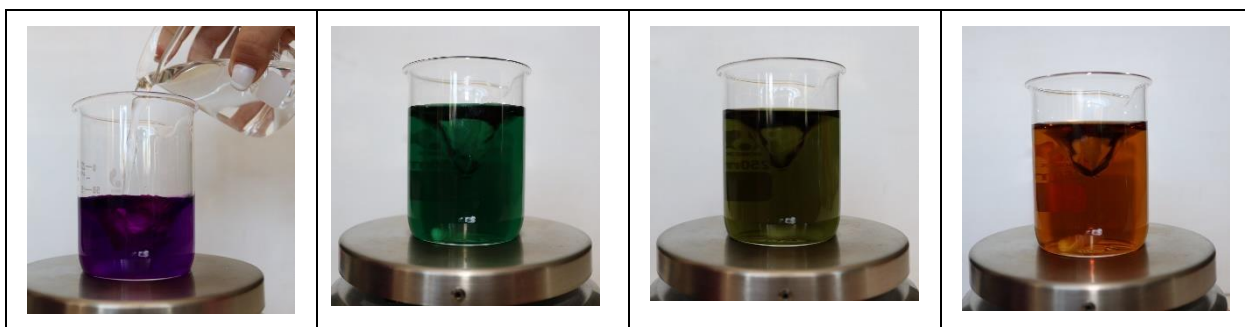
1.2 Τα είδη των χημικών αναπαραστάσεων

Οι χημικές αναπαραστάσεις είναι ταυτόχρονα και οπτικές και εννοιολογικές κατασκευές. Παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία διότι τα συμβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται έχουν διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά και έτσι αναπαριστούν τις πληροφορίες και τα φαινόμενα με διαφορετικούς τρόπους. Μια αναπαράσταση μπορεί να «φωτίζει» περισσότερο κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας οντότητας ή μιας έννοιας ή μιας διεργασίας και κάποια άλλη αναπαράσταση της ίδιας οντότητας, έννοιας ή διεργασίας να επικεντρώνεται σε κάποια άλλα. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση των αναπαραστάσεων απαιτεί από μέρος του εκπαιδευόμενου την αναγνώριση των γραφικών συμβάσεων αλλά και των περιορισμών τους, όπως και τον χειρισμό χωρικών πληροφοριών⁷.

Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το είδος των συμβολικών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί, οι αναπαραστάσεις των χημικών φαινομένων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τουλάχιστον σε τρία είδη: α) σε μακροσκοπικές, β) σε μικροσκοπικές και γ) σε συμβολικές αναπαραστάσεις.

1.2.1 Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις

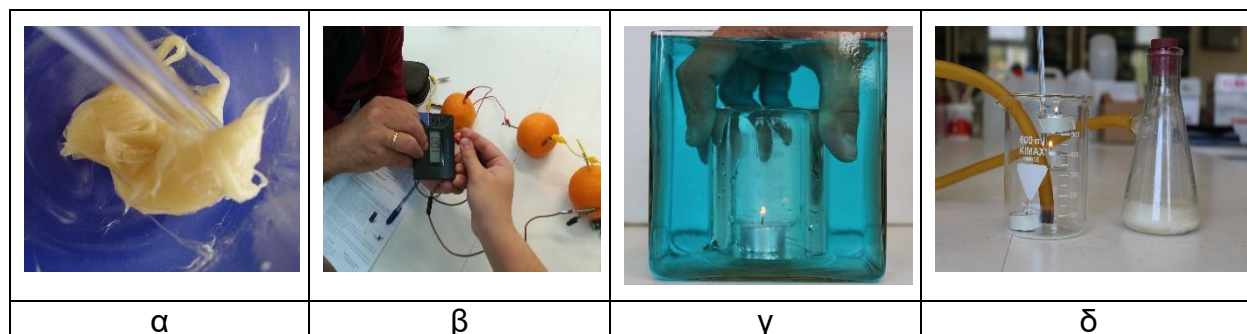
Πρόκειται: α) για άμεσες εμπειρίες από εργαστηριακά πειράματα ή από την καθημερινή ζωή, β) για παρακολούθηση των χημικών φαινομένων σε βίντεο ή γ) για νατουραλιστικές εικόνες, δηλαδή για απλές φωτογραφίες ή σκίτσα σύμφωνα με το φωτογραφικό ρεαλισμό που απεικονίζουν τα χημικά φαινόμενα.



Εικόνα 2: Μακροσκοπική αναπαράσταση αντιδράσεων σχηματισμού ενώσεων του Mn με διαφορετικό αριθμό οξειδωσης. Από πείραμα στο σχολικό εργαστήριο

Μακροσκοπική αναπαράσταση αποτελεί η παρατήρηση δια ζώσης στο σχολικό εργαστήριο, της εναλλαγής των χρωμάτων λόγω σχηματισμού ενώσεων του Mn με διαφορετικό αριθμό οξειδωσης κάθε φορά (εικόνα 2). Ή η παρακολούθηση ενός βίντεο που δείχνει το πείραμα αυτό ή ακόμα και η προβολή μιας φωτογραφίας όπου απεικονίζονται τα διαφορετικά χρώματα. Οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις απεικονίζουν τα φαινόμενα σύμφωνα με την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, δηλαδή έτσι

όπως γίνονται αντιληπτά με το ανθρώπινο μάτι: η παραγωγή σαπουνιού, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, η υποβρύχια φλόγα που αρχικά δεν σβήνει, ο σχηματισμός ενός αερίου που δεν διατηρεί την καύση (εικόνα 3).

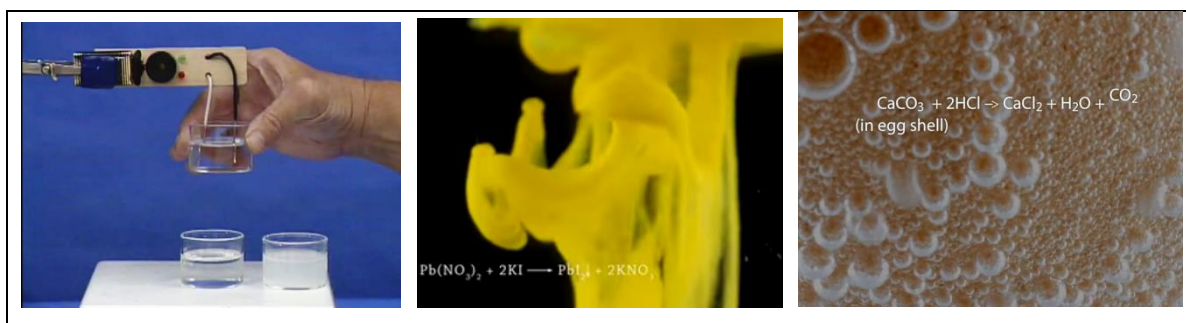


Εικόνα 3: Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις από εμπειρία στο εργαστήριο: α)παρασκευή σαπουνιού β)μπαταρία απο πορτοκάλια γ)υποβρύχια φλόγα δ)παραγωγή CO₂. Από εργαστηριακές ασκήσεις που πραγματοποιήσαμε στο σχολικό εργαστήριο

Οι περισσότερες μακροσκοπικές αναπαραστάσεις που έχουν οι άνθρωποι είναι από εμπειρίες της καθημερινής τους ζωής. Ανάλογα με την ηλικία τους, το αντιληπτική τους ικανότητα και το γνωστικό τους επίπεδο προσπαθούν να δώσουν απαντήσεις σε ό,τι παρατηρούν. Η μάθηση των Φυσικών Επιστημών ξεκινά από την παιδική ηλικία και την επαφή μας με μακροσκοπικές αναπαραστάσεις. Ο Piaget, πρόδρομος του κονστρουκτιβισμού, θεωρεί ότι η μάθηση στα παιδιά είναι μια προσωπική, εξατομικευμένη και διανοητική διαδικασία που προέρχεται από την δράση του υποκειμένου πάνω στο φυσικό κόσμο¹¹. Οι σύγχρονες θεωρίες μάθησης συγκλίνουν στο ότι η μάθηση δεν είναι μια γνήσια δεκτική ή μεταδοτική διαδικασία, αλλά μια ενεργητική διαδικασία κατά την οποία τα άτομα δομούν τα δικά τους νοήματα από τις πληροφορίες που τους παρέχονται. Αυτή η διαδικασία της δόμησης των νοημάτων περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του υποκειμένου όπως η προϋπάρχουσα γνώση, οι ικανότητες, οι στάσεις κ.τ.λ. που έχουν τις ρίζες τους στις εμπειρίες και στα κληρονομικά χαρακτηριστικά. Εμπεριέχει επίσης το πλαίσιο μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η μάθηση. Είναι μία συνεχής διαδικασία αλληλεπιδράσεων, κατά τις οποίες αυτό που μαθαίνει το υποκείμενο τώρα επηρεάζεται από εκείνο που έχει μάθει νωρίτερα και αυτό με τη σειρά του θα επηρεάσει κάποιον που θα μάθει αύριο. Στην εποικοδόμηση η μάθηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως μάθηση εκ των «έσω»¹².

Σε κάθε περίπτωση οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις είναι το έναυσμα για να μετατραπούν οι προσλαμβάνουσες από την καθημερινή ζωή σε επιστημονική γνώση.

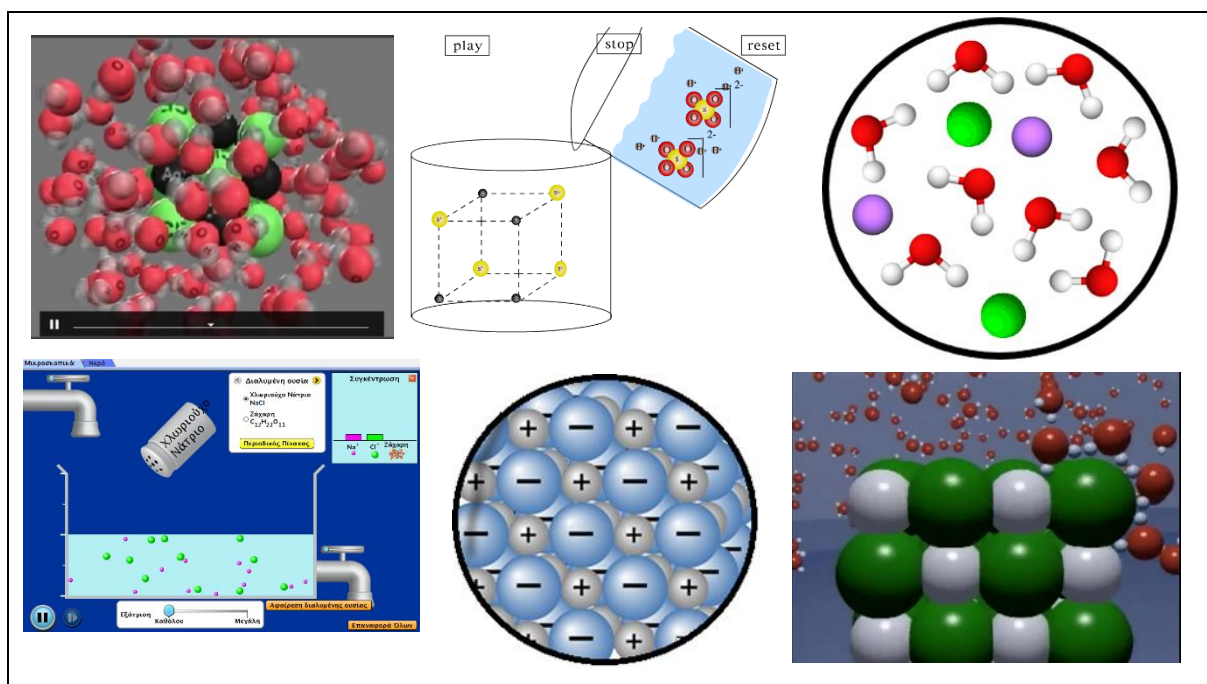
Πίνακας 1: Μακροσκοπικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας



1.2.2 Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις

Μπορεί ο μικρόκοσμος να μην μπορεί να γίνει αντιληπτός με τις αισθήσεις μας, εν τούτοις εκεί βρίσκονται οι απαντήσεις στα περισσότερα χημικά ερωτήματα. Γι' αυτό και προκύπτει η αναγκαιότητα των υπομικροσκοπικών αναπαραστάσεων. Με αυτές, ο χημικός ή ο εκπαιδευτικός χημικός, μελετά ή περιγράφει τη σύνθεση, τη δομή, την κίνηση και τις αλληλεπιδράσεις των δομικών στοιχείων της ύλης.

Πίνακας 2: Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας

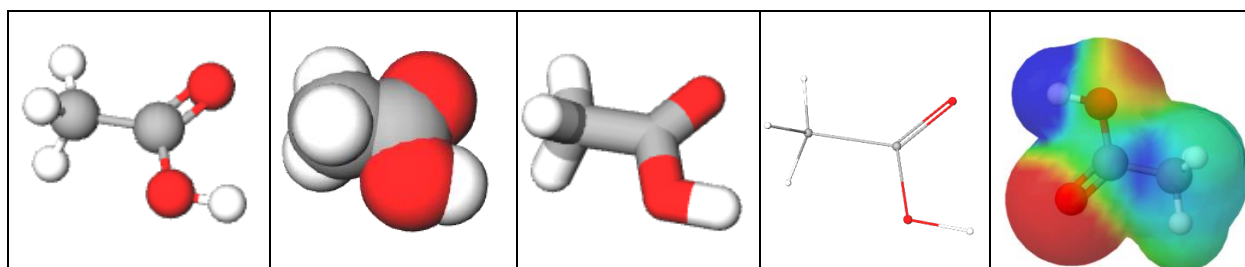


Το υπομικροσκοπικό σωματιδιακό επίπεδο περιλαμβάνει: άτομα, ιόντα, μόρια, ηλεκτρόνια, δυνάμεις, έλξεις, συγκρούσεις σωματιδίων, 3D οπτικοποιήσεις, δομές πλεγμάτων, μοντέλα ηλεκτρονικής πυκνότητας, μοντέλα επιφάνειας δυναμικής ενέργειας κ.ά. Οι υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις μπορεί να είναι χειροπιαστά μοριακά

μοντέλα, στατικές εικόνες ή σκίτσα, κινούμενα σχέδια στον υπολογιστή (animation), τρισδιάστατα μοριακά μοντέλα σκελετικά ή χρωοπληρωτικά που δύνανται να περιστραφούν, προσομοιώσεις με δυνατότητα διαδραστικότητας.

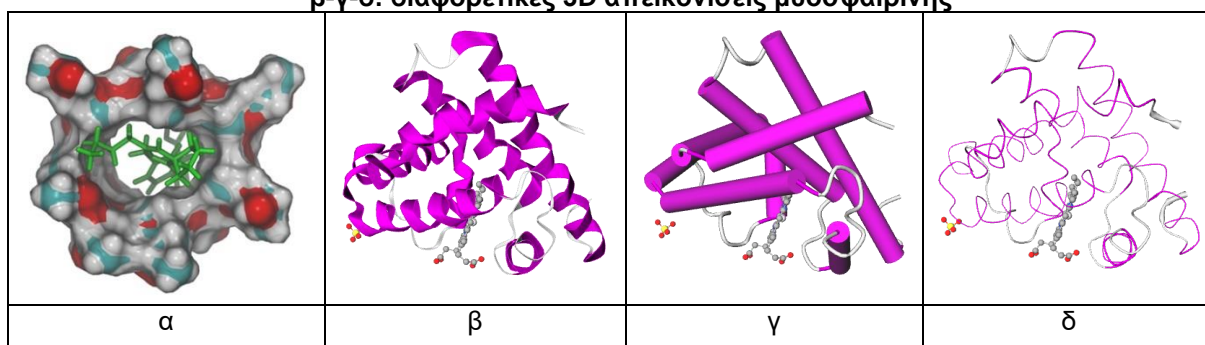
Οι υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις είναι ως επί το πλείστον απεικονίσεις μοριακών μοντέλων. Τα πιο κλασσικά μοντέλα, με τη σειρά όπως απεικονίζονται στον πίνακα 3 είναι: α) το μοντέλο σφαίρας-ράβδου (ball and stick), όπου οι σφαίρες είναι τα άτομα και οι ράβδοι είναι οι δεσμοί, β) το χρωοπληρωτικό μοντέλο (Van der Waals spheres) που απεικονίζει καλύτερα τον όγκο των ατόμων και του μορίου συνολικά, γ) το μοντέλο ράβδων (stick), όπου απεικονίζονται μόνο οι δεσμοί, ενώ με τη διαφορά χρωμάτων στους δεσμούς υπονοούνται τα άτομα, δ) το μοντέλο σύρμα (wireframe) που είναι πιο λεπτό από το μοντέλο ράβδων και ε) μοντέλο ηλεκτρονικής πυκνότητας.

Πίνακας 3: Υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις: μοριακά μοντέλα αιθανικού οξέος



Με την πρόοδο της πληροφορικής και την ανάπτυξη αντίστοιχων λογισμικών είναι πλέον δυνατή η κατασκευή πιο πολύπλοκων τρισδιάστατων απεικονίσεων περίπλοκων οργανικών μορίων. Αυτό προφανώς είναι χρήσιμο για τη χημική εκπαίδευση, αλλά αποτελεί και σημαντικό όπλο για την ανάπτυξη της ίδιας της επιστήμης της Χημείας, όπως για παράδειγμα στην απεικόνιση και μελέτη της τρισδιάστατης δομής πρωτεϊνών¹³.

Πίνακας 4. α: σύμπλεξη λοσαρτάνης σε κυκλοδεξτρίνη (σχεδιασμός φαρμάκου)¹⁴, β-γ-δ: διαφορετικές 3D απεικονίσεις μιοσφαιρίνης



(Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμες πάνω από 100.000 τριδιάστατες δομές πρωτεϊνών, οι οποίες καταγράφονται στην τράπεζα δεδομένων Protein Data Bank, PDB).

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η σύγχρονη σύνθεση φαρμάκων (βλέπε εικόνα α στον πίνακα 4, χρήση QSAR μοντέλων¹⁴), όπου οι υπολογιστικές τεχνικές, η βιοπληροφορική και η

χημειοπληροφορική αξιοποιούνται σε όλα τα στάδια της ανακάλυψης και ανάπτυξης νέων φαρμάκων, αναπτύσσοντας τον σχεδιασμό τους με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (*computer-aided drug design, CADD*)¹⁵.

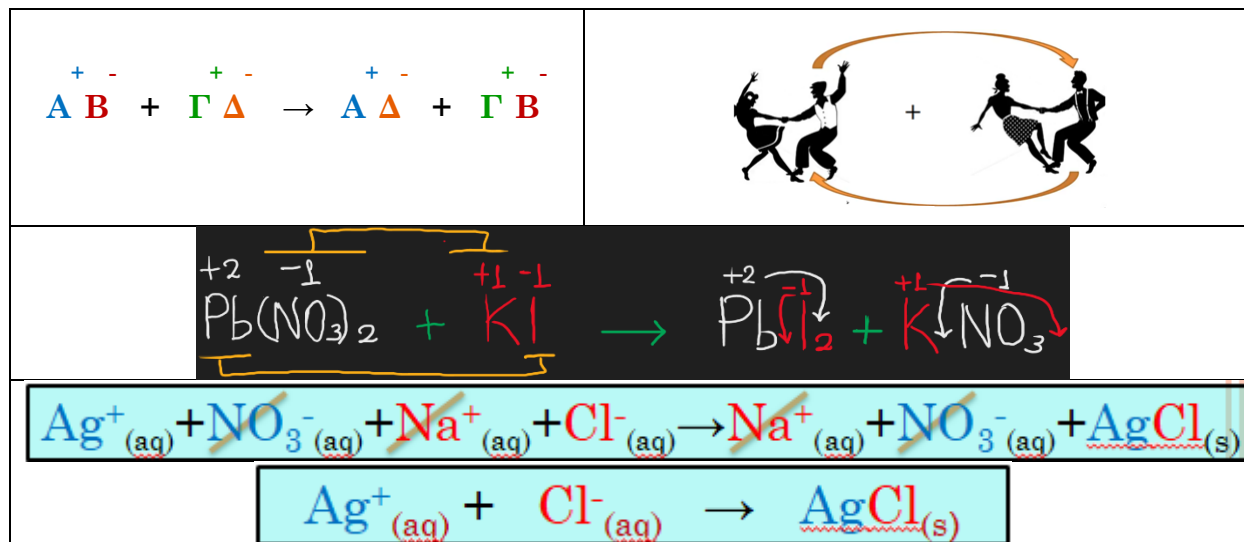
1.2.3 Συμβολικές αναπαραστάσεις

Είναι οι αναπαραστάσεις των ταυτοτήτων των οντοτήτων (άτομα, ιόντα ή μόρια), για παράδειγμα εκείνων που εμπλέκονται σε μια χημική αντίδραση (που παράγει μια «χημική εξίσωση») ή των ποσοτικών σχέσεων μεταξύ τους (που παράγουν μια «μαθηματική εξίσωση»), για παράδειγμα στον υπολογισμό των σταθερών ισορροπίας.¹⁶ Χαρακτηριστικά παραδείγματα συμβολικών αναπαραστάσεων είναι τα χημικά σύμβολα των στοιχείων, οι χημικοί τύποι των ενώσεων, οι χημικές δομές, οι χημικές εξισώσεις, οι μηχανισμοί, οι γραφικές παραστάσεις, οι αλγεβρικές εξισώσεις κ.α.⁷ Χρησιμοποιούν σύμβολα, γράμματα, αριθμούς, γραφήματα, για να αναπαρασταθούν άτομα, μόρια, ιόντα, ουσίες, φυσικές καταστάσεις, χημικές διαδικασίες. Οι πιο διαδεδομένες συμβολικές αναπαραστάσεις των μορίων είναι οι χημικοί τύποι, οι οποίοι είναι δισδιάστατες αναπαραστάσεις. Είναι αυτοί που χρησιμοποιούν συνήθως οι εκπαιδευτικοί και τα σχολικά βιβλία λόγω της ευκολίας σχεδιάσής τους. Οι πιο συνηθισμένοι χημικοί τύποι είναι οι εξής:

- i. Οι μοριακοί τύποι. Δίνουν πληροφορίες για το είδος και την αναλογία των ατόμων σε ένα μόριο ή το είδος και την αναλογία ιόντων στον ιοντικό κρύσταλλο
- ii. Οι συντακτικοί τύποι. Εκτός αυτών που μας παρέχουν οι μοριακοί τύποι, μας δίνουν επιπλέον πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο έχουν συνδεθεί τα άτομα μεταξύ τους στο κάθε μόριο. Παραλλαγή τους είναι οι συνεπτυγμένοι συντακτικοί τύποι στους οποίους δεν σχεδιάζονται όλοι οι δεσμοί αλλά μόνον οι απαραίτητοι βάσει συγκεκριμένων συμβάσεων.
- iii) Οι στερεοχημικοί τύποι που απεικονίζουν την τρισδιάστατη δομή των μορίων και στους οποίους με χρήση ιδιαίτερων συμβόλων (συνεχής ή ασυνεχής σφηνοειδής γραμμή στη θέση των δεσμών) αναπαριστούν τη θέση του ατόμου σε σχέση με το επίπεδο του χαρτιού (μπροστά ή πίσω αντίστοιχα), ενώ η απλή γραμμή υπονοεί ότι βρίσκεται πάνω στο επίπεδο.
- iv) Οι ηλεκτρονικοί τύποι κατά Lewis που απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο έχουν διαμοιραστεί τα δεσμικά ηλεκτρόνια σθένους καθώς και τα μη δεσμικά. Επίσης τα

σύμβολα Lewis που απεικονίζουν τα ηλεκτρόνια σθένους των στοιχείων. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τελείες για την αναπαράσταση των ηλεκτρονίων.

Πίνακας 5: Συμβολικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη διδακτική παρέμβαση της έρευνας



Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η διάκριση μεταξύ συμβολικής αναπαράστασης και υπομικροσκοπικής δεν είναι σαφής. Ο Talanquer¹⁷, αναφερόμενος στη διχοτομία αυτή, λέει: «...Για παράδειγμα, πολλές χημικές αναπαραστάσεις είναι υβρίδια υπό την έννοια ότι περιλαμβάνουν συμβολικά στοιχεία συνδυασμένα με εικονικά στοιχεία που επιδιώκουν να μοντελοποιήσουν τις ιδιότητες ενός συστήματος (π.χ. μια αναπαράσταση σφηνών ενός μορίου που μεταφέρει συμβολικές πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση αλλά και παρουσιάζοντας ενδείξεις μοντελοποίησης σχετικά με τη γεωμετρία). Πού τελειώνουν τα σύμβολα και πού αρχίζουν τα μοντέλα;»

1.3 Η χρήση τους στην εκπαίδευση

Από τη στιγμή που η οπτικοποίηση παίζει κεντρικό ρόλο στην άσκηση της ίδιας της επιστήμης της Χημείας, υποστηρίζεται από πολλούς ότι θα πρέπει να διαδραματίζει αντίστοιχο ρόλο στην επιστημονική εκπαίδευση. Το 1996 η Habraken υποστηρίζει ότι τώρα που οι νέοι είναι εξοικειωμένοι με την οπτική απεικόνιση εξ' αιτίας των υπολογιστών, είναι καιρός να αναζωογονηθεί η εκπαίδευση της Χημείας μέσω της οπτικής-χωρικής προσέγγισης, μια προσέγγιση πλήρως σύμφωνη με τον τρόπο σκέψης και πρακτικής της σύγχρονης Χημείας. Στηρίζει δε τις απόψεις της πάνω σε συμπεράσματα του Gardner. Το 1983, ο ψυχολόγος του Πανεπιστημίου του Χάρβαρντ, Howard Gardner (1983) δημοσίευσε το *Frames of Mind. A Theory of Multiple Intelligences*, και δέκα χρόνια αργότερα στο *Multiple Intelligences* (Gardner, 1993),

εκθέσεις σχετικά με τις εκπαιδευτικές επιπτώσεις της θεωρίας του. Ο Γκάρντνερ διαπίστωσε ότι υπάρχουν επτά διακριτές «ευφυΐες» που περιλαμβάνουν, ενδεικτικά, την παραδοσιακή γλωσσική και τη λογικο-μαθηματική σκέψη. Δύο από τις ευφυΐες του έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους χημικούς: η χωρική νοημοσύνη και η σωματο-κιναισθητική νοημοσύνη. Ο Gardner τις περιγράφει ως εξής: Η χωρική νοημοσύνη είναι η ικανότητα να σχηματίζει κανείς ένα νοητικό μοντέλο ενός χωρικού κόσμου και να μπορεί να ελίσσεται και να λειτουργεί χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο. Οι ναυτικοί, οι μηχανικοί, οι χειρουργοί, οι γλύπτες και οι ζωγράφοι για να αναφέρουμε μόνο μερικά παραδείγματα, έχουν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη χωρική νοημοσύνη. Η σωματο-κιναισθητική νοημοσύνη είναι η ικανότητα να επιλύει κανείς προβλήματα ή να δημιουργεί προϊόντα χρησιμοποιώντας ολόκληρο το σώμα ή μέρη του. Χορευτές, αθλητές, χειρουργοί και τεχνίτες όλοι επιδεικνύουν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη σωματική-κιναισθητική νοημοσύνη. Η σωματο-κιναισθητική νοημοσύνη είναι η ικανότητα να επιλύει κανείς προβλήματα ή να δημιουργεί προϊόντα χρησιμοποιώντας ολόκληρο το σώμα ή μέρη του. Χορευτές, αθλητές, χειρουργοί και τεχνίτες όλοι επιδεικνύουν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη σωματο-κιναισθητική νοημοσύνη. Η άποψη του Γκάρντνερ είναι ότι, σε αντίθεση με τις κοινές πεποιθήσεις, υπάρχει μια πολλαπλότητα της διανοήσης και ότι δεν μαθαίνουν όλοι οι μαθητές με τον ίδιο τρόπο. Όμως, όπως ξεκαθαρίζει ο Gardner, σε αυτή την κοινωνία τα παιδιά και οι ενήλικες υποβάλλονται σε «πλύση εγκεφάλου» για να πιστέψουν ότι η νοημοσύνη είναι μόνο η ικανότητα επίλυσης λογικών και γλωσσικών προβλημάτων. Η Habraken θεωρεί ότι υπάρχει απροθυμία των εκπαιδευτών να αναγνωρίσουν την αξία του οπτικο-χωρικού συστατικού στη χημική σκέψη και αυτό έχει να κάνει με την πεποίθησή τους ότι μόνο η λεκτική και η μαθηματική σκέψη μπορεί να είναι αυστηρή. Οι οπτικοποιήσεις είναι για αυτούς απλές εικονογραφίες. Αυτό όμως δεν είναι έτσι. Το ίδιο το εξελιγμένο εικονογραφικό «ρεπερτόριο» της Χημείας είναι μια εξαιρετικά δομημένη γλώσσα που διευκολύνει επίσης τη διεθνή επικοινωνία. Όσο οι εκπαιδευτικοί συνεχίζουν να παραμελούν την οπτική- χωρική σκέψη στη διδασκαλία τους, πολλοί μαθητές δεν θα μπορούν να εκτιμήσουν πόσο συναρπαστική μπορεί να είναι η Χημεία. Εκτός αυτού, περιορίζοντας τη διδασκαλία της Χημείας στη λεκτική σκέψη και μαθηματική λογική, μεταφέρουν μια ψευδή και επί μακρόν εγκαταλειμμένη αντίληψη της Χημείας για τη Χημεία.

Οι Wu και Shah¹⁸, για να βοηθήσουμε τους μαθητές να κατανοήσουν τις έννοιες της Χημείας και να αναπτύξουν δεξιότητες στη νοηματοδότηση των αναπαραστάσεων μέσω της υποστήριξης της οπτικής σκέψης τους, προτείνουν πέντε αρχές για το σχεδιασμό

εργαλείων απεικόνισης της Χημείας: 1)να παρέχουμε πολλαπλές αναπαραστάσεις και περιγραφές, 2)να καθιστούμε τις συνδέσεις που έχουν πραγματοποιηθεί φανερές, 3)να παρουσιάζουμε τη δυναμική και διαδραστική φύση της Χημείας, 4)να προωθούμε τον μετασχηματισμό μεταξύ 2D και 3D, και 5)να μειώνουμε το γνωστικό φορτίο κάνοντας τις πληροφορίες σαφείς.

Στο χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, εδώ και περισσότερο απο είκοσι χρόνια, έχουν κερδίσει έδαφος προσομοιώσεις χημικών φαινομένων και διαδικασιών που μπορεί να έχουν διαδραστικό χαρακτήρα και να βασίζονται στην ενεργητική συμμετοχή του μαθητή. Έχει πολλές φορές διερευνηθεί το κατά πόσο η χρήση συγκεκριμένων τύπων οπτικοποίησης (3D illustration, 3D animation, interactive 3D animation) σε συνδυασμό με πιθανή αφήγηση και κείμενο, συμβάλλει στη μαθησιακή διαδικασία. Έρευνα σε μαθητές μεταξύ 13 και 14 ετών έδειξαν ότι οι εφαρμογές πολυμέσων με διαδραστικά τρισδιάστατα κινούμενα σχέδια καθώς και με τρισδιάστατα κινούμενα σχέδια στην πραγματικότητα αυξάνουν το ενδιαφέρον των μαθητών και κάνουν το υλικό πιο ελκυστικό για αυτούς¹⁹. Τα ευρήματα υποδηλώνουν επίσης ότι το πιο προφανές και ουσιαστικό όφελος των στατικών εικαστικών (3D εικονογραφήσεις) είναι ότι αφήνουν τον έλεγχο του χρόνου της μάθησης στους μαθητές και μειώνουν το γνωστικό φορτίο. Ένα άλλο διδακτικό εργαλείο για μαθητές μέχρι περίπου Γ΄Γυμνασίου είναι τα πολυμεσικά ψηφιακά παιχνίδια που μπορούν να αξιοποιήσουν τον ενθουσιασμό των μαθητών για ηλεκτρονικά παιχνίδια και να λειτουργήσουν τόσο ως κίνητρο για μάθηση, όσο και να τραβήξουν το ενδιαφέρον των μαθητών σε θεματικές ενότητες των φυσικών επιστημών. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν ευχάριστες δραστηριότητες, η χρήση τους είναι απλή και μέσω αυτών οι μαθητές μπορούν ταυτόχρονα να μάθουν, να συμμετέχουν, να κατανοήσουν, να εφαρμόσουν αλλά και να πειραματιστούν με τη προσλαμβανόμενη γνώση²⁰. Η εκπαιδευτική χρήση των παιχνιδιών θα μπορούσε να περιγραφεί ως «μάθηση μέσω διάδρασης». Συνεπώς, οι δραστηριότητες αυτές προορίζονται κυρίως ως ένα εργαλείο-βοήθημα για τη διδασκαλία και τη μάθηση.

1.4 Τα παιδιά βλέπουν μια χιονόμπαλα – Δυσκολίες, παρανοήσεις μαθητών

«Πάντοτε μου έκανε εντύπωση ότι οι καθηγητές των θετικών επιστημών περισσότερο από τους άλλους δεν μπορούν να κατανοήσουν πως οι μαθητές τους δεν καταλαβαίνουν. Το γεγονός ότι ο μαθητής φθάνει στο σχολείο κατέχοντας ήδη συγκροτημένες εμπειρικές γνώσεις, δεν τους έχει προβληματίσει.».
Bachelard G, 1934

Η δημιουργία εξωτερικών και εσωτερικών αναπαραστάσεων, με την χρησιμοποίηση οπτικών ή οπτικοακουστικών μέσων ή με τη χρήση μιας λεκτικής περιγραφής ή

οποιοδήποτε άλλου πρόσφορου μέσου, με σκοπό την πιο κατανοητή παρουσίαση ενός θέματος, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατάκτηση μιας γνώσης από μέρους των μαθητών που να πλησιάζει πολύ την επιστημονική γνώση. Το εγχείρημα όμως δεν είναι χωρίς δυσκολίες. Οι καθηγητές, συχνά, υποθέτουν ότι οι μαθητές κατανοούν το ρόλο του κάθε επιπέδου αναπαράστασης, καθώς και τις μεταξύ τους σχέσεις, διότι οι ίδιοι μπορούν να χρησιμοποιούν όλα τα επίπεδα ταυτόχρονα. Επίσης, υποθέτουν ότι οι μαθητές μπορούν εύκολα να μεταφερθούν από το ένα επίπεδο στο άλλο.²¹ Το ερώτημα που τίθεται είναι εάν πράγματι κάτι τέτοιο συμβαίνει, δηλαδή, εάν οι μαθητές είναι σε θέση να σκέφτονται παράλληλα και στα τρία επίπεδα της Χημείας και ιδιαίτερα κατά πόσο εκλαμβάνουν από τις αναπαραστάσεις το σωστό μήνυμα που αυτές μεταφέρουν. Οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί αποκαλύπτουν ότι όχι μόνο οι μαθητές, αλλά και οι προπτυχιακοί φοιτητές, έχουν αρκετές και ποικίλες δυσκολίες και παρανοήσεις οι οποίες σχετίζονται, άμεσα ή έμμεσα, με τις χημικές αναπαραστάσεις.

Για το θέμα αυτό ο Johnstone¹ αναφέρει: «Οι μαθητές μας είναι σαν οδηγοί σε μια παράξενη πόλη που δεν ξέρουν τι να παρακολουθήσουν και προσπαθώντας να επεξεργαστούν πάρα πολλά, υπερφορτώνουν. Η μακροπρόθεσμη μνήμη τους δεν είναι ακόμη αρκετά καλά ανεπτυγμένη για να τους επιτρέψει να κάνουν διακρίσεις. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η απογοήτευση και η σύγχυση μεγαλώνουν, ενώ η απόλαυση μειώνεται». Και πιο κάτω: «Όσοι από εμάς είμαστε επαγγελματίες χημικοί δουλεύουμε καλά μέσα στο τρίγωνο με ένα μείγμα μακρο, υπομικρο και αναπαραστατικών τρόπων. Γλιστράμε εύκολα από το ένα άτομο στο άλλο όπως απαιτεί η σκέψη μας. Καθώς γράφω και ενώ χιονίζει, μπορώ εύκολα να γλιστρήσω από την ομορφιά των χιονισμένων στεγών και των δέντρων, στο εξαγωνικό σχήμα των νιφάδων του χιονιού, στο δεσμό υδρογόνου και στο ανοιχτό πλέγμα πάγου. Τα παιδιά όμως που περνούν από το παράθυρό μου το βλέπουν ως υλικό για χιονόμπαλες.....».

Πράγματι οι μαθητές και γενικότερα οι μη ειδικοί όταν δέχονται πολλές ασύνδετες πληροφορίες, τις επεξεργάζονται σαν διαφορετικές μονάδες που οδηγούν στην υπερφόρτωση μνήμης³.

Η Γκίτζια⁷ αναφέρει τρία είδη παρανοήσεων μεταξύ των μαθητών: α) παρανοήσεις που αφορούν την κατανόηση και την ερμηνεία των αναπαραστάσεων, β) τη μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων και γ) τη δημιουργία αναπαραστάσεων

1.4.1 Παρανοήσεις στην ερμηνεία των αναπαριστάσεων

Οι μαθητές δεν αποκωδικοποιούν σωστά τα σύμβολα. Πληθώρα παρανοήσεων έχουν καταγραφεί στην ερμηνεία των χημικών τύπων. Για παράδειγμα στην ερώτηση τι σημαίνει ο χημικός τύπος του νερού H_2O υπάρχει πλήθος λανθασμένων απαντήσεων. Η πιο συνηθισμένη απάντηση είναι: «δύο υδρογόνα ενώνονται με ένα οξυγόνο». Άλλη συχνή απάντηση είναι «έχουμε δύο υδρογόνα και ένα οξυγόνο» ή «δύο μόρια υδρογόνου ενώνονται με ένα μόριο οξυγόνο». Από άλλους που απαντούν «δύο άτομα υδρογόνου ενώνονται με ένα άτομο οξυγόνο», πολλοί δεν ξέρουν να απαντήσουν το τι σχηματίζεται²². Μία από τις συχνές παρανοήσεις είναι να θεωρούν ότι πρόκειται για μίγμα μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου²³. Σε άλλες περιπτώσεις αγνοούν τη σημασία του δείκτη ή θεωρούν ότι ο δείκτης αναφέρεται στο στοιχείο που έπεται. Κάποιοι θεωρούν ότι ο δείκτης είναι ο αριθμός ηλεκτρονίων του στοιχείου ή ο ατομικός του αριθμός. Άλλοι νομίζουν ότι τα στοιχεία στον χημικό τύπο αναγράφονται με τυχαία ή με αλφαβητική σειρά²⁴. Πολλοί θεωρούν ότι τα άτομα ενώνονται στο μόριο με τη σειρά που γράφονται: για παράδειγμα νομίζουν ότι ο χημικός τύπος $HClO$ δίνει την πληροφορία ότι είναι το κεντρικό είναι το άτομο Cl που ενώνεται με τα άλλα δύο άτομα. Αρκετοί μπερδεύουν τη σημασία του δείκτη με αυτή του συντελεστή. Κάποιοι νομίζουν ότι ένας χημικός τύπος είναι τα αρχικά ή μια συντομογραφία ενός ονόματος που έχει η ένωση αυτή. Σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί ότι οι μαθητές απομνημονεύουν χημικούς τύπους²² (το νερό είναι κλασσικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης).

Η αποκλειστική χρήση των μοριακών τύπων ακόμα και στη περίπτωση των ιοντικών ενώσεων, οδηγεί πολλούς μαθητές στο συμπέρασμα ότι όλες οι ενώσεις είναι μοριακές. Πρόεκταση αυτού είναι ότι όταν οι ενώσεις αυτές διαλυθούν στο νερό, τότε μέσα στο νερό θα είναι με μορφή ατόμων ή μορίων²⁵. Είναι ένα από τα θέματα με τα οποία ασχολείται η έρευνα αυτή.

Στη περίπτωση που ο καθηγητής θελήσει να διδάξει (στον ιοντικό δεσμό) ότι εκτός από τον τύπο - για παράδειγμα - $CaCl_2$ υπάρχει και ο τύπος $Ca^{2+}.2Cl^-$, τότε χρειάζεται μια προσεκτική μεθόδευση γιατί οι παρανοήσεις είναι πολλές. Οι μαθητές μπερδεύουν τη σημασία του συντελεστή, το τι φορτίο πρέπει να βάλουν, το αν το φορτίο αναφέρεται στο ένα ιόν ή σε όλα τα ανιόντα ή κατιόντα, αντί για συντελεστές μπροστά από τα ιόντα βάζουν δείκτες μετά από αυτά.

Παρανοήσεις έχουμε και κατά τη χρήση συντακτικών τύπων στους οποίους οι μαθητές θεωρούν ότι υπάρχει κάποια σημασία αν η γραμμή του δεσμού κατευθυνθεί πάνω ή

κάτω, δεξιά ή αριστερά. Στους συνεπτυγμένους συντακτικούς οι λανθασμένες αντιλήψεις εστιάζονται κυρίως στο ποιο άτομο ενώνεται με ποιο, λόγω των συμβάσεων που υπάρχουν.

Οι αρχάριοι δεν βλέπουν κάτω από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Οι Kozma και Russel⁴ σε έρευνά τους ταξινομούν σε πέντε επίπεδα τις ικανότητες αναπαράστασης. Στο χαμηλότερο επίπεδο, με ικανότητες που διαθέτουν οι αρχάριοι, βρίσκεται η ικανότητα του ατόμου να μπορεί, όταν του ζητηθεί, να κατασκευάζει μια αναπαράσταση ενός φαινομένου, η οποία όμως όπως διαπιστώνουμε, είναι μια απεικόνιση που βασίζεται μόνο στα φυσικά χαρακτηριστικά του φαινομένου. (Στο δεύτερο επίπεδο αρχίζει και περιλαμβάνει επιπλέον ορισμένα συμβολικά στοιχεία). Επίσης διαπιστώνουμε ότι κατά την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή κατά τη διαδικασία ερμηνείας των χημικών αναπαραστάσεων φαίνεται ότι πολλοί μαθητές κατανοούν τις αναπαραστάσεις μέσω των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών, τα οποία τα ανάγουν σε μακροσκοπικό επίπεδο²⁶. Συνεπώς δυσκολεύονται να αντιληφθούν τα υποκείμενα νοήματα που βρίσκονται κάτω από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Οι μαθητές με χαμηλό επίπεδο γνώσεων δυσκολεύονται να συνδέσουν το μακροσκοπικό με το μικροσκοπικό επίπεδο διότι προσπαθούν να αντιστοιχήσουν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και όχι τις υποκείμενες έννοιες. Σε κάθε περίπτωση το συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά για να κατανοήσουν τη Χημεία. Και αυτό είναι ένα χρήσιμο συμπέρασμα για τους εκπαιδευτικούς.

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια παραδείγματα όπου οι μαθητές επιχειρούν μετάφραση αντιστοιχίζοντας επιφανειακά χαρακτηριστικά: Το χρώμα των σωματιδίων των παραστάσεων με το πραγματικό χρώμα των ουσιών. Μεγάλα σφαιρικά σωματίδια με τις στερεές ουσίες. Δεσμός μεταξύ δυο ίδιων ατόμων με την έννοια της χημικής ένωσης. Η απόδοση στερεοχημικών ιδιοτήτων από ένα συντακτικό τύπο. Η απόδοση ενός άσχετου νοήματος στην ανερχόμενη καμπύλη ενός διαγράμματος.

1.4.2 Δυσκολίες στη μετάφραση

Είναι κοινός τόπος ανάμεσα στους επιστήμονες της διδακτικής της Χημείας (ήδη έγινε αναφορά σε κάποιους από αυτούς), ότι οι μαθητές πρέπει να μάθουν να πλοηγούνται εντός και μεταξύ των τριών διαφορετικών τρόπων αναπαράστασης. Αν αποκτήσουν αυτή την ικανότητα, αυτό θα σημαίνει ότι έχουν κατακτήσει την ουσιαστική μάθηση (meaningfull learning)²⁷, μια βαθύτερη κατανόηση των εννοιών που διαπραγματεύονται με τις

αναπαραστάσεις αυτές. Όμως οι μαθητές δυσκολεύονται στη μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων είτε αυτές βρίσκονται στο ίδιο είτε σε διαφορετικά επίπεδα. Γιατί αυτό προϋποθέτει μια σύνθετη διαδικασία: 1) Πρέπει πρώτα ο μαθητής να ερμηνεύσει σωστά τις πληροφορίες που του παρέχει η πρώτη αναπαράσταση, αποκωδικοποιώντας σωστά τα επιφανειακά της χαρακτηριστικά και αντιλαμβανόμενος τα υποκείμενα μηνύματα. 2) Να κάνει το ίδιο και για την άλλη αναπαράσταση. 3) Να αναγνωρίσει αν οι δύο αναπαραστάσεις είναι ισοδύναμες, δηλαδή αναπαριστούν το ίδιο φαινόμενο^{21,28}, οντότητα ή έννοια. Αυτό είναι ίσως και το πιο δύσκολο μέρος. Γιατί ακόμα κι αν οι δύο αναπαραστάσεις ανήκουν στο ίδιο επίπεδο, μπορεί να μην επικεντρώνονται στα ίδια χαρακτηριστικά ή να μην έχουν τις ίδιες γραφικές συμβάσεις, ή να μην έχουν τους ίδιους περιορισμούς ή να μην εκπέμπουν τις ίδιες χωρικές πληροφορίες. Φυσικά τα πράγματα γίνονται πιο δύσκολα όταν οι αναπαραστάσεις ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα. Να προσθέσουμε εδώ ότι σε κάθε του βήμα, η ύπαρξη εναλλακτικών ιδεών θα αποτελεί εμπόδιο.

Στην Ελλάδα η κυρίαρχη διδακτική προσέγγιση επικεντρώνεται πάρα πολύ στο χειρισμό των συμβόλων εις βάρος της ουσιαστικής ανάλυσης και συζήτησης των συναφών μοντέλων της ύλης. Η έρευνα όμως, παγκόσμια, στη χημική εκπαίδευση έχει δείξει ότι οι μαθητές φαίνεται να αναπτύσσουν μια ικανότητα χειρισμού συμβολικών αναπαραστάσεων, σε κάποιο βαθμό, χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται ότι έχουν κατανοήσει τα υποκείμενα μοντέλα που δίνουν νόημα στα χημικά σύμβολα¹⁷.

Σε έρευνα σχετική με την ικανότητα μαθητών και φοιτητών να μεταφράζουν αναπαραστάσεις διαφορετικού τύπου, η Γκίτζια⁷ μεταξύ των άλλων συμπερασμάτων αναφέρει: α) Παρατηρήθηκε μια τάση απομνημόνευσης των χημικών εννοιών και ορισμών χωρίς να συνοδεύεται από εννοιολογική κατανόηση και ικανότητα οπτικοποίησης. β) Αισθητή είναι η αδυναμία σύνδεσης των υπομικροσκοπικών και των συμβολικών αναπαραστάσεων και, μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις οι μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ τους. γ) η ικανότητα επίτευξης της μετάφρασης «υπομικρο→συμβο» για μία έννοια φαίνεται να συνοδεύεται με μεγαλύτερη πιθανότητα επίτευξης και άλλων μεταφράσεων για την έννοια αυτή. δ) Αρκετοί μαθητές ενώ μπορούν να επιτύχουν μία μετάφραση για μία έννοια μεταξύ δύο επιπέδων, δεν μπορούν να επιτύχουν την αντίστροφη. ε) η ικανότητα μετάφρασης συνδέεται με τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές/φοιτητές για τις εξεταζόμενες έννοιες. Οι Γκίτζια, Σάλτα και Τζουγκράκη²² αναφέρουν ότι η μετάφραση που φάνηκε ότι δυσκολεύει περισσότερο

τους μαθητές 11^{ης} τάξης είναι η υπομικροσκοπική σε συμβολική ενώ αυτή με το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών είναι η υπομικροσκοπική σε μακροσκοπική.

Ένα παράδειγμα είναι η δυσκολία που έχουν οι μαθητές να διακρίνουν τις έννοιες «στοιχείο», «ένωση»²⁹. Συνδέουν τα απομονωμένα άτομα με τα χημικά στοιχεία, και τα συνδεδεμένα σωματίδια με τις χημικές ενώσεις, ανεξάρτητα αν τα σωματίδια είναι ίδια. Η παρουσία αυτών των εναλλακτικών ιδεών αναδεικνύεται στις μεταφράσεις από το συμβολικό επίπεδο στο υπομικροσκοπικό³⁰. Άλλο παράδειγμα είναι ότι οι μαθητές δυσκολεύονται στη διάκριση μεταξύ «ένωσης» και «μίγματος» διότι δεν δέχονται ότι ένα υλικό που αποτελείται από διαφορετικούς τύπους ατόμων μπορεί να είναι μια (καθορισμένη) ουσία³¹.

1.5 Για τη σωστή χρήση των αναπαραστάσεων - Προτάσεις

Πρέπει άραγε ο κίνδυνος δημιουργίας παρανοήσεων να είναι αποτρεπτικός παράγων στη χρήση των απαραστάσεων στην εκπαίδευση; Ο Gilbert⁸ θεωρεί ότι η δημιουργία εξωτερικών και εσωτερικών αναπαραστάσεων είναι κεντρικής σημασίας για τη μάθηση και ειδικά για τη μάθηση των επιστημών. Υποστηρίζει ότι οι μαθητές πρέπει να μάθουν να πλοηγούνται εντός και μεταξύ των διαφορετικών τρόπων αναπαράστασης. Θεωρεί ότι η απόκτηση αυτής της ευχέρειας περιέχει στοιχεία μεταγνώσης και εξετάζει τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη αυτού που ο ίδιος ονομάζει «μεταοπτικοποίηση» (metavisualization) δηλαδή ένα είδος μεταγνώσης που αφορά την οπτικοποίηση:¹⁶

- Το άτομο θα πρέπει να κατανοεί τη «σύμβαση της αναπαράστασης» για όλες τις κατηγορίες των αναπαραστάσεων. Δηλαδή, θα πρέπει να αναγνωρίζει τι μπορούν και τι δεν μπορούν να απεικονίσουν.
- Το άτομο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να μεταφράζει μία αναπαράσταση από τη μία μορφή στην άλλη.
- Το άτομο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να κατασκευάζει μία αναπαράσταση σε οποιοδήποτε είδος διαστάσεων για ένα δεδομένο σκοπό.
- Το άτομο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να λύνει πρωτότυπα προβλήματα χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις που βασίζονται σε μοντέλα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη σχεδίαση μιας κατάλληλης αναλογίας από ένα ήδη λυμένο πρόβλημα είτε ανακαλώντας κάποιο οπτικό στοιχείο και απομακρύνοντας τα άσχετα ως προς το πρόβλημα στοιχεία.

Ο Mayer R., εκπαιδευτικός ψυχολόγος, έχει συμβάλλει καθοριστικά στην ανάπτυξη της γνωστικής θεωρίας για την εκμάθηση μέσω πολυμέσων. Ο Robinson³² συνοψίζοντας το έργο του Mayer αναφέρει τις τρεις θεωρητικές υποθέσεις στις οποίες κατέληξε ο Mayer³³, οι οποίες πηγάζουν από τη γνωστική θεωρία και είναι σχετικές με το πώς οι άνθρωποι μαθαίνουν από τις λέξεις και τις εικόνες: i) Η υπόθεση του διπλού καναλιού αναφέρει ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει ξεχωριστούς διαύλους για την επεξεργασία ακουστικών-λεκτικών και οπτικών-εικονογραφικών εισροών. ii) Η υπόθεση περιορισμένης χωρητικότητας είναι ότι υπάρχει ένα σχετικά μικρό όριο στο τμήμα του ανθρώπινου εγκεφάλου που ονομάζεται μνήμη εργασίας το οποίο επεξεργάζεται και χειρίζεται τις εισροές από τα ακουστικά-λεκτικά και οπτικά εικονογραφικά κανάλια. iii) Η υπόθεση της ενεργητικής μάθησης που σημαίνει ότι η μάθηση συμβαίνει όταν ο μαθητής επιλέγει, οργανώνει και ενσωματώνει πληροφορίες από ακουστικές ή/και οπτικές εισόδους. Ο Mayer (2002) χρησιμοποιεί αυτή τη θεωρία και τα ερευνητικά ευρήματα από πολυάριθμες μελέτες για να αναπτύξει οκτώ αρχές της μάθησης με πολυμέσα που οδηγούν σε βαθύτερη κατανόηση δύσκολων εννοιών και αρχών που μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση νέων προβλημάτων. Αυτά είναι:

1. Αρχή πολυμέσων. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν χρησιμοποιούνται και λέξεις και εικόνες παρά όταν χρησιμοποιούνται μόνο λέξεις.
2. Αρχή γειννίασης. Η βαθύτερη μάθηση προκύπτει από την παρουσίαση λέξεων και εικόνων ταυτόχρονα και όχι διαδοχικά.
3. Αρχή συνοχής. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν δεν περιλαμβάνονται ξένες, άσχετες λέξεις, ήχοι ή εικόνες.
4. Αρχή τροπικότητας. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν οι λέξεις παρουσιάζονται ως αφήγηση και όχι ως κείμενο στην οθόνη.
5. Αρχή πλεονασμού. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν οι λέξεις παρουσιάζονται ως αφήγηση και όχι ως αφήγηση και ως κείμενο επί της οθόνης.
6. Αρχή διαδραστικότητας. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν επιτρέπεται στους εκπαιδευόμενους να ελέγχουν το ποσοστό παρουσίασης παρά όταν δεν τους επιτρέπεται.
7. Αρχή σηματοδότησης. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν τα βασικά βήματα στην αφήγηση είναι σηματοδοτημένα παρά χωρίς σήμα.
8. Αρχή εξατομίκευσης. Η βαθύτερη μάθηση συμβαίνει όταν οι λέξεις παρουσιάζονται με στυλ συνομιλίας και όχι επίσημο.

Αυτές οι οκτώ αρχές³³ έχουν άμεση σχέση με τον τρόπο με τον οποίο οι οπτικοποιήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χημική εκπαίδευση για να υποστηρίξουν την

εκμάθηση δύσκολων εννοιών και αρχών Χημείας. Για παράδειγμα, οι αρχές των πολυμέσων, της γειννίαςης και της τροπικότητας ενθαρρύνουν την ταυτόχρονη χρήση των οπτικοποιήσεων μαζί με την ακουστική διδασκαλία για να παρέχουν ένα συνεργατικό μαθησιακό αποτέλεσμα υποστηρίζοντας την ενεργό επεξεργασία τόσο των οπτικών όσο και των ακουστικών εισόδων στη μνήμη εργασίας. Το λογισμικό πολυμέσων θα ήταν πιο αποτελεσματικό εάν χρησιμοποιούσε ακουστική αφήγηση και όχι εκτυπωμένο κείμενο. Οι αρχές συνοχής και πλεονασμού υποδηλώνουν ότι οι εκπαιδευτικοί και οι εκπαιδευτικοί σχεδιαστές χρησιμοποιούν τις απλούστερες δυνατές οπτικές και ακουστικές συνιστώσες για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου μάθησης. Οι απεικονίσεις θα πρέπει να μειώνουν τις περιττές λεπτομέρειες, αντί να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές, προκειμένου να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος μαθησιακός στόχος.

Για τις δεξιότητες που πρέπει να καλλιεργεί ένα ουσιαστικό πρόγραμμα Χημείας για την τριτοβάθμια εκπαίδευση, οι Kozma και Russell⁴ προτείνουν τις παρακάτω:

- Η ικανότητα χρήσης αναπαραστάσεων για την περιγραφή παρατηρήσιμων χημικών φαινομένων από την άποψη των υποκείμενων μοριακών οντοτήτων και διαδικασιών.
- Η ικανότητα δημιουργίας ή επιλογής αναπαράστασης και εξήγησης γιατί είναι κατάλληλη για έναν συγκεκριμένο σκοπό.
- Η ικανότητα χρήσης λέξεων για τον προσδιορισμό και την ανάλυση χαρακτηριστικών μιας συγκεκριμένης αναπαράστασης (όπως μια κορυφή σε ένα γράφημα συντεταγμένων) και μοτίβων χαρακτηριστικών (όπως η συμπεριφορά των μορίων σε ένα κινούμενο σχέδιο).
- Η ικανότητα να περιγράφει πώς διαφορετικές αναπαραστάσεις μπορεί να λένε το ίδιο πράγμα με διαφορετικούς τρόπους και να εξηγεί πώς μια αναπαράσταση μπορεί να πει κάτι διαφορετικό ή κάτι που δεν μπορεί να ειπωθεί με μια άλλη.
- Η ικανότητα δημιουργίας συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών αναπαραστάσεων, χαρτογράφησης χαρακτηριστικών ενός τύπου αναπαράστασης σε αυτά ενός άλλου (όπως η αντιστοίχιση μιας κορυφής ενός γραφήματος σε ένα δομικό διάγραμμα) και η εξήγηση της μεταξύ τους σχέσης.
- Η ικανότητα λήψης της γνωσιολογικής θέσης στην οποία αντιστοιχούν οι αναπαραστάσεις αλλά διαφέρουν από τα φαινόμενα που παρατηρούνται.
- Η ικανότητα χρήσης αναπαραστάσεων και των χαρακτηριστικών τους σε κοινωνικές καταστάσεις ως αποδεικτικά στοιχεία για την υποστήριξη ισχυρισμών, την εξαγωγή

συμπερασμάτων και την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα.

Η Γκίτζια, ξεκινώντας από τη παραδοχή ότι οι παρανοήσεις και οι δυσκολίες των μαθητών έχουν τη ρίζα τους στην αδυναμία οπτικοποίησης της Χημείας υπομικροσκοπικά και στον ελλιπή συσχετισμό των εννοιών και των αρχών της Χημείας με το υπομικροσκοπικό επίπεδο θεωρεί ότι αν οι μαθητές κατανοήσουν το επίπεδο αυτό, θα αποκτήσουν μια συμπαγή και ενιαία κατανόηση και γνώση της Χημείας. Γι'αυτό θεωρεί ότι θα πρέπει να παρέχονται στους μαθητές πολύ περισσότερες δυνατότητες να «δουν» υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις.^{24,34,35} Επιπλέον αν δοθεί έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο, τότε βελτιώνεται η απόδοση των μαθητών σε όλα τα επίπεδα της Χημείας (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό).

Οι Γκίτζια, Σάλτα και Τζουγκράκη³⁶ καταθέτουν τέσσερις προτάσεις που θεωρούν ότι θα συμβάλουν στην βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης της Χημείας: α) να δίνεται περισσότερη έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο δεδομένης της δυσκολίας των μαθητών να οπτικοποιήσουν την σωματιδιακή φύση της ύλης. Η έμφαση αυτή θα πρέπει να δίνεται κατά την διδασκαλία και την αξιολόγηση των μαθητών αλλά και στα σχολικά εγχειρίδια. β) να επεξηγούνται αναλυτικά οι μικροσκοπικές και οι συμβολικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται, ώστε να καθίσταται σαφές το νόημά τους σε όλους τους μαθητές. γ) να επισημαίνεται η σχέση ανάμεσα στα 3 επίπεδα της Χημείας. δ) να χρησιμοποιείται η κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων από τους ίδιους τους μαθητές και η μετάφραση μεταξύ αναπαραστάσεων από το ένα επίπεδο Χημείας στο άλλο στην αξιολόγηση των μαθητών ώστε να αποτιμάται η εννοιολογική κατανόηση των εννοιών και να αποκαλύπτονται πιθανές παρανοήσεις. Οι Kozma και Russel⁴ θεωρούν ότι μοριακά μοντέλα, προσομοιώσεις και κινούμενα σχέδια μπορούν να υποστηρίξουν τους στόχους οικοδόμησης εννοιών ενός προγράμματος σπουδών Χημείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

2.1 Γενικά για τις χημικές εξισώσεις

Οι χημικές εξισώσεις είναι σημαντικές για την επιστήμη της Χημείας και τη διδασκαλία της επειδή αντιπροσωπεύουν τα γεγονότα που συνδέουν τα δύο επίπεδα, το μακροσκοπικό και το υπομικροσκοπικό και είναι χρήσιμες για τον ποσοτικό προσδιορισμό των χημικών αλλαγών. Ανήκουν στο τρίτο επίπεδο στο οποίο «κινείται» η Χημεία, το συμβολικό δηλαδή επίπεδο, αφού μια χημική εξίσωση μεταφέρει πολλές πληροφορίες συμπυκνωμένες σε απλούς αριθμούς και σύμβολα στοιχείων. Η χρήση τους συναντά δυσκολίες από μέρους των μαθητών γιατί απαιτούν³: 1)Μάθηση των συμβόλων και της ορθογραφίας (παράδειγμα ορθογραφίας: σε μια χημική ένωση, το ηλεκτροθετικό στοιχείο γράφεται πρώτο), 2)Μάθηση της βασικής γραμματικής (παράδειγμα: αντιδρών1 + αντιδρών2 → προϊόν), 3)Υπόβαθρο γνώσεων για την ερμηνεία της συμβολικής γλώσσας, 4)Διατήρηση της μάζας, 5)Συμβολισμός των μεταβολών της ενέργειας, 6)Διατήρηση του φορτίου, 7)Συμβολισμός της χημικής ισορροπίας.

Πολλοί δάσκαλοι Χημείας επιλέγουν να τονίζουν την αλγοριθμική φύση της εξίσωσης, περιορίζοντας τη διδασκαλία τους στην εκμάθηση τεχνικών για την ισοστάμισή της, υποβαθμίζοντας τη σημασία του τι αντιπροσωπεύει η εξίσωση μακροσκοπικά και κυρίως υπομικροσκοπικά. Αυτό αποτελεί μια από τις αιτίες δημιουργίας παρανοήσεων από μέρους των μαθητών. Στην παρούσα εργασία δεν θα ασχοληθούμε με τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την χημική αντίδραση γενικά, παρά μόνο με αυτές που σχετίζονται με τις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.

2.2 Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Παρανοήσεις μαθητών

Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης είναι αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν οξέα, βάσεις και άλατα, άρα ενώσεις που είναι είτε μοριακές είτε ιοντικές. Κατά συνέπεια, εναλλακτικές ιδέες που αφορούν τους δεσμούς έχουν αντίκτυπο και στην κατανόηση των αντιδράσεων αυτών. Σύμφωνα με τους Chi et al³⁷ οι μαθητές τείνουν να κατηγοριοποιούν τη γνώση σε διακριτές οντολογικές κατηγορίες. Οι οντότητες που κατηγοριοποιούνται σε μια κατηγορία, όπως για παράδειγμα η κατηγορία «ύλη», έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν από οντότητες μιας άλλης οντολογικής κατηγορίας, όπως οι «διαδικασίες». Μάλιστα ο Chi θεωρεί ότι είναι πολύ δύσκολη η αλλαγή της ένταξης μιας

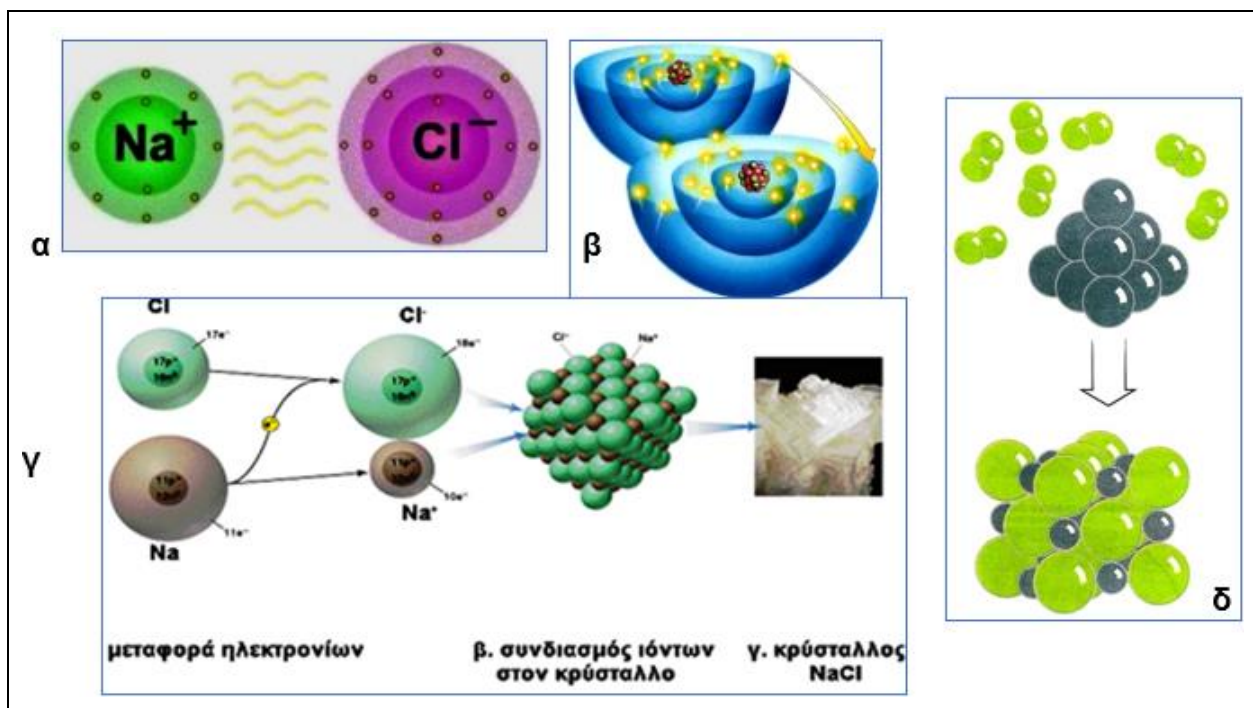
οντότητας από μια κατηγορία σε άλλη. Η διαπίστωση των Harrison και Treagust^{38,39} ότι συχνά οι μαθητές απεικονίζουν τους χημικούς δεσμούς σαν φυσικούς δεσμούς σχετίζεται με αυτό ακριβώς το θέμα. Έχουν ουσιαστικά μεταφέρει την έννοια του δεσμού από την κατηγορία «διαδικασίες» στην κατηγορία «ύλη». Η χρήση των μοντέλων σφαίρας-ράβδου (ball and stick), όπου οι σφαίρες είναι τα άτομα και οι ράβδοι είναι οι δεσμοί, μπορεί να λειτουργεί ενισχυτικά στην παρανόηση αυτή. Αυτή η άποψη λειτουργεί καλά όταν αντιπροσωπεύει ομοιοπολικούς δεσμούς: υπάρχει μια αύξηση της πυκνότητας των ηλεκτρονίων μεταξύ δύο πυρήνων όταν σχηματίζεται ένας ομοιοπολικός δεσμός. Η πλαστική ράβδος μπορούμε να πούμε ότι αντιπροσωπεύει τα ηλεκτρόνια στο δεσμό. Όταν αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται στην ιοντική σύνδεση η αδυναμία της θεώρησης των δεσμών ως «*πράγματα*» που κρατούν τα σωματίδια μαζί γίνεται εμφανής. Σε ένα πλέγμα χλωριούχου νατρίου, δεν αναγνωρίζονται εύκολα οι δεσμοί. Το πλέγμα συγκρατείται από τις δυνάμεις έλξης μεταξύ αντιθέτων φορτισμένων ιόντων. Κάθε ιόν νατρίου έλκεται από όλα τα γύρω ιόντα χλωρίου και το αντίστροφο. Η λειτουργία των πλαστικών ράβδων σε ένα φυσικό μοντέλο ενός πλέγματος χλωριούχου νατρίου είναι απλά να συγκρατήσει το μοντέλο μαζί και, στην πραγματικότητα, η πυκνότητα ηλεκτρονίων μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων ιόντων πέφτει προς το μηδέν στο διάστημα μεταξύ των ιόντων. Η επιστημονική άποψη για τον δεσμό αντιπροσωπεύεται καλύτερα ως μια «διαδικασία» αλληλεπίδρασης: στο μεν ιοντικό δεσμό ως μια διαδικασία αλληλεπίδρασης μεταξύ αντιθέτων φορτισμένων ιόντων, στον δε ομοιοπολικό δεσμό ως μια διαδικασία αλληλεπίδρασης μεταξύ θετικά φορτισμένων πυρήνων και των ηλεκτρονίων, τα οποία βρίσκονται ανάμεσά τους. Το αποτέλεσμα της εσφαλμένης οντολογικής κατηγοριοποίησης μπορεί να φανεί στη σύγχυση μεταξύ ιοντικών και ομοιοπολικών δεσμών. Πολλοί μαθητές όταν μιλούν για το στερεό NaCl αναφέρονται σε άτομα νατρίου και χλωρίου που συγκρατούνται από ομοιοπολικούς δεσμούς σχηματίζοντας μόρια. Ένας επίσης σημαντικός αριθμός μαθητών υιοθετεί την άποψη περί ύπαρξης ζεύγους ιόντων νατρίου και χλωρίου που συγκρατούνται μεταξύ τους με κάποιο τρόπο²⁵. Λίγοι είναι οι μαθητές που έχουν αποκτήσει μια σαφή κατανόηση της τρισδιάστατης δομής πλέγματος του χλωριούχου νατρίου.

Αν προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τις πηγές αυτών των παρανοήσεων, θα μπορούσαμε εύκολα να σκεφτούμε μια τέτοια: την χρήση των μοριακών τύπων και στην περίπτωση των ιοντικών ενώσεων. Τι διαφορετικό αποκομίζει ο μαθητής βλέποντας το σύμβολο HCl από το σύμβολο NaCl; Για το πρώτο, διδάσκεται ότι το εννοιολογικό του περιεχόμενο είναι κάθε ότι κάθε μόριο της ένωσης αποτελείται από ένα άτομο υδρογόνου

και ένα άτομο χλωρίου που είναι ενωμένα με χημικό δεσμό. Γιατί να μην σκεφτεί το ίδιο και για το NaCl, από τη στιγμή που δεν βλέπει πουθενά ιόντα ώστε να του υπενθυμίσουν ότι πρόκειται περί ιοντικής ένωσης;

Μια άλλη πηγή των παρανοήσεων πάνω στο ίδιο θέμα, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε το γεγονός των «παρεξηγήσιμων» αναπαραστάσεων, είτε στατικών είτε κινούμενων σχεδίων, στις οποίες περιγράφεται ο σχηματισμός του ιοντικού δεσμού. Για τον ιοντικό δεσμό, στο NaCl για παράδειγμα, βλέπουμε τις περισσότερες αναπαραστάσεις να δείχνουν τη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από ένα άτομο νατρίου σε ένα άτομο χλωρίου, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός ιόντος νατρίου και ενός ιόντος χλωρίου. Ως εκ τούτου είναι φυσικό να δημιουργείται στον μαθητή η εναλλακτική ιδέα περί ύπαρξης ζευγών ιόντων στην χημική ένωση του στερεού χλωριούχου νατρίου.

Πίνακας 6: Αναπαραστάσεις του ιοντικού δεσμού



Στον πίνακα 6 βλέπουμε 4 αναπαραστάσεις που απεικονίζουν τη δημιουργία ιοντικού δεσμού. Η αναπαράσταση α προέρχεται από ένα animation που καταλήγει στο στιγμιότυπο που παρουσιάζεται. Θεωρούμε ότι είναι ανεπιτυχής γιατί οδηγεί στην παρανόηση περί ύπαρξης ζευγών ιόντων, όπως κάνουν πολλά animation ή εικόνες που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο. Το ίδιο και για την αναπαράσταση β που προέρχεται από το σχολικό βιβλίο της Α΄ Λυκείου⁴⁰, ενώ θεωρούμε ότι η αναπαράσταση δ (ευρισκόμενη επίσης στο ίδιο βιβλίο, περιγράφει τον σχηματισμό του κρυστάλλου του NaCl από Na(s) και Cl₂(g)), όπως και η αναπαράσταση γ, είναι πιο συνεπείς με την επιστημονική εκδοχή. Αυτό οφείλεται στην απεικόνιση της δημιουργίας πολλών ανιόντων και κατιόντων και όχι

μονάχα ενός μόνον ζεύγους, τα οποία καταλήγουν στη δημιουργία του κρυστάλλου.

Οι Boo και Watson⁴¹ σε έρευνά τους σχετικά με τις αντιλήψεις μαθητών 16-18 ετών πάνω στις αντιδράσεις σε υδατικά διαλύματα, διατυπώνουν την άποψη ότι η ένταξη της έννοιας του δεσμού στην κατηγορία της «ύλης» και όχι των «διαδικασιών» έχει σαν αποτέλεσμα τη θεώρηση του ιοντικού δεσμού σαν φυσικού δεσμού μεταξύ δύο ιόντων και αυτό μεταφέρεται και στα υδατικά διαλύματα. Οι μαθητές δηλαδή θεωρούν ότι ο φυσικός αυτός δεσμός μεταξύ των δύο ιόντων, μένει ανεπηρέαστος ή ελαφρώς μόνο επηρεάζεται από τη διάλυση. Γι' αυτό επικρατεί σύγχυση όσον αφορά τη σωματιδιακή φύση των ενώσεων αυτών όταν συμμετέχουν σε αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Ο εντοπισμός και η περιγραφή των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη διαδικασία διάλυσης των ενώσεων στο νερό, κυρίως μέσω της περίπτωσης της ζάχαρης και του επιτραπέζιου αλατιού, είναι ίσως η πιο μελετημένη περιοχή παρανοήσεων της Χημείας⁴²⁻⁴⁶.

Οι Naah & Sanger⁴³ συγκέντρωσαν τέσσερις σημαντικές παρανοήσεις των μαθητών κατά τη γραφή εξισώσεων διάστασης ιοντικών ενώσεων στο νερό. Αυτές οι εσφαλμένες αντιλήψεις περιελάμβαναν i) την ιδέα ότι οι ιονικές ενώσεις αντιδρούν με το νερό σε μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης, όταν διαλύονται, ii) την ιδέα ότι οι ιονικές ενώσεις διαχωρίζονται σε ουδέτερα άτομα ή μόρια στο νερό, iii) μια γενική σύγχυση σχετικά με την ορθή χρήση δεικτών και συντελεστών, και iv) την ιδέα ότι τα πολυατομικά ιόντα διαχωρίζονται σε μικρότερα συστατικά όταν διαλύονται σε νερό.

Στην έρευνα των Boo & Watson⁴¹ διαπιστώνεται ότι αρκετοί μαθητές θεωρούν σαν κινητήρια δύναμη πραγματοποίησης μιας αντίδρασης σχηματισμού ιζήματος τη διαφορά δραστηριότητας μεταξύ των αντιδρώντων. Πιο συγκεκριμένα, για την αντίδραση μεταξύ του νιτρικού μολύβδου και του χλωριούχου νατρίου σε υδατικό διάλυμα, οι μαθητές αυτοί πίστευαν ότι αυτή πραγματοποιείται επειδή το νάτριο είναι πιο δραστικό από τον μολύβδο και γι' αυτό τον εκτοπίζει. Οι μαθητές αυτοί δεν έχουν συνειδητοποιήσει ότι το νάτριο στο χλωριούχο νάτριο είναι θεμελιωδώς διαφορετικό από το στοιχειακό νάτριο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι δεν γίνεται διάκριση μεταξύ ενός μίγματος νατρίου και χλωρίου και της χημικής τους ένωσης. Οι απόψεις αυτές συνάδουν με μια πρόσθετη άποψη για τη χημική αντίδραση, όπου οι δεσμοί απλώς κολλάνε στοιχεία μεταξύ τους, αφήνοντας τα στοιχεία αμετάβλητα⁴⁷. Αυτό αφορά γενικότερα όλα τα είδη αντιδράσεων. Σύμφωνα με τον Lee⁴⁸ οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που ασχολήθηκαν με το υπομικροσκοπικό επίπεδο των μηχανισμών μιας χημικής αντίδρασης (και συγκεκριμένα της διάσπασης, με θέρμανση, του CuCO_3), συνάντησαν πολλές δυσκολίες στην απεικόνιση της δυναμικής φύσης των αντιδράσεων και πιο συγκεκριμένα με το πώς οι

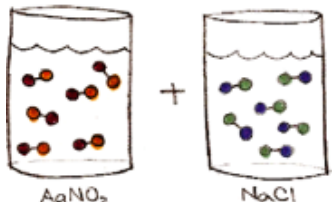

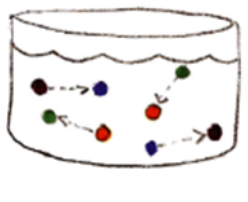
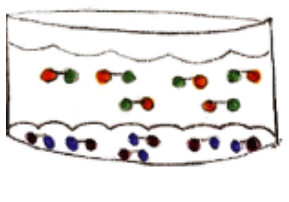
δεσμοί έσπασαν και αναμορφώθηκαν κατά την αντίδραση.

Ξαναγυρνώντας στις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης, οι Kelly et al⁴⁵ σε έρευνα που πραγματοποιούν σε 21 προπτυχιακούς φοιτητές γενικής Χημείας, διερευνούν το είδος των παρερμηνειών που μεταφέρονται από τις εξηγήσεις των φοιτητών σχετικά με το υπομικροσκοπικό επίπεδο τριών – υπό εξέταση - αντιδράσεων καθίζησης: $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) + \text{NaNO}_3$ (1) , $\text{KNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \rightarrow \#$ (2) και $\text{MnCl}_2(\text{aq}) + 2\text{AgNO}_3(\text{aq}) \rightarrow 2\text{AgCl}(\text{s}) + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ (3). Οι φοιτητές αυτοί προηγουμένως, κατά τη διάρκεια τριών διαλέξεων, είχαν διδαχθεί τις έννοιες της διάστασης, ιοντικών εξισώσεων και καθαρά ιοντικών εξισώσεων. Παρ' όλα αυτά οι ερευνητές διαπιστώνουν ένα πλήθος παρανοήσεων που παραμένουν. Με τίτλους αναφέρουμε κάποιες από αυτές:

- Τα αντιδρώντα είναι μοριακά ζεύγη στα υδατικά τους διαλύματα πριν από την ανάμιξη
- Κατά την ανάμιξη τα μόρια των αντιδρώντων διασπώνται
- Το ίζημα αντιπροσωπεύεται ως μοριακό ζεύγος
- Το ευδιάλυτο προϊόν δεν αντιπροσωπεύεται ως ελεύθερα ιόντα
- Το αντιδρών NaCl δεν διασπάται, δεν είναι διαλυτό
- Σχηματίζονται προϊόντα KCl και NaNO_3 στην (2).
- Τα μόρια του προϊόντος που σχηματίστηκαν στη συνέχεια διασπώνται
- Μια γραμμή, όμοια με αυτή του ομοιοπολικού δεσμού σχεδιάζεται μεταξύ ιόντων
- Τα ιόντα διαχωρίζονται και στη συνέχεια σχηματίζουν μόρια και για τα δύο προϊόντα
- Οι ενώσεις γίνονται φορτισμένα ιόντα για να διαχωριστούν
- Τα ιόντα διαχωρίζονται και κατόπιν σχηματίζουν μοριακά ζεύγη
- Και τα δύο ζεύγη ιόντων των αντιδρώντων ανταλλάσσουν τάρρι

Από την ίδια έρευνα⁴⁵ και το συμπληρωματικό της υλικό παραθέτουμε σχέδια των φοιτητών και σχόλια των ίδιων πάνω στα σχέδια αυτά:

Πίνακας 7: Αναπαράσταση με χαρακτηριστικά μοριακής και ιοντικής εξίσωσης

			
<p>α) Υδατικά διαλύματα των AgNO_3 και NaCl</p>	<p>β) Με την ανάμιξη τα μόρια χωρίζονται σε ιόντα.</p>	<p>γ) Τα ιόντα ξέρουν πού να πάνε.</p>	<p>δ) Ο AgCl φτιάχνει ένα στερεό υλικό και γι' αυτό προκύπτει η αντίδραση.</p>

Στον πίνακα 7 βλέπουμε πώς σχεδιάζει ένας φοιτητής την πορεία την αντίδρασης μεταξύ των AgNO_3 και NaCl . Στην α) βλέπουμε τα αντιδρώντα υπό μορφή μορίων, στη β) θεωρεί ότι χωρίζονται σε ιόντα, για τη γ) απάντησε σε σχετική ερώτηση, ότι τα ιόντα ξέρουν με κάποιο τρόπο πού να πάνε και στο δ) τόσο το ίζημα, όσο και το ευδιάλυτο προϊόν είναι

μόρια. Περισσότεροι από τους μισούς φοιτητές συμπεριέλαβαν χαρακτηριστικά μοριακής εξίσωσης στα σχέδιά τους. Αυτές οι αναφορές στις εξισώσεις υποδηλώνουν ότι οι φοιτητές που διδάσκονται για τις αντιδράσεις καθίζησης με έμφαση στο συμβολικό επίπεδο, μπορεί να δυσκολεύονται να κατανοήσουν πώς σχετίζεται η μοριακή εξίσωση με τις συνολικές ιοντικές εξισώσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Καταλήγοντας, είναι πιθανό, πολλοί μαθητές εσφαλμένα ενσωμάτωσαν χαρακτηριστικά τόσο της μοριακής εξίσωσης όσο και της ιοντικής εξίσωσης (total ionic) στις απεικονίσεις τους, υποδεικνύοντας ότι βλέπουν το ιοντική εξίσωση ως ενδιάμεσο βήμα στην αντίδραση. Περίπου οι μισοί από τους φοιτητές στην ίδια έρευνα επέλεξαν να σχεδιάσουν μια πολύ απλοποιημένη αναπαράσταση όπου χρησιμοποιούν την απλούστερη ακέραια αναλογία των σωματιδίων που παίρνουν μέρος στην αντίδραση (1) για να την περιγράψουν υπομικροσκοπικά (Πίνακας 8, απεικόνιση α). Λίγες είναι οι περιπτώσεις όπου σχεδιάζεται ένα πλήθος οντοτήτων, όπως στον Πίνακα 8, απεικόνιση β, όπου έχουμε όμως άλλη παρανόηση: την ύπαρξη ζεύγους ιόντων στα προϊόντα. Κανένας φοιτητής δεν παρουσίασε το ίζημα ως άθροισμα μεγαλύτερο από τον απλούστερο λόγο ιόντων.

Πίνακας 8: Αναπαραστάσεις φοιτητών για αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης

<p>α. Εδώ χρησιμοποιείται η απλούστερη ακέραια αναλογία για την αναπαράσταση της αντίδρασης (1)</p>	
<p>β. Παράδειγμα από τις λίγες απεικονίσεις που δείχνουν ένα ικανό πληθυσμό από οντότητες που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση (1)</p>	
<p>Caption: - two solutions before mixing </p>	<p>Caption: - the two solutions of $AgNO_3(aq)$ and $NaCl(aq)$ just started to mix</p>

Εν κατακλείδι, οι συγκεκριμένοι τρεις ερευνητές⁴⁵ θεωρούν ότι όταν η διδασκαλία τονίζει τη συμβολική φύση της ύλης, οι εκπαιδευόμενοι τείνουν να προσαρμόζουν τις ιδέες που έχουν για το τι συμβαίνει στο υπομικροσκοπικό επίπεδο, στις χημικές εξισώσεις, αναπτύσσοντας ή ενισχύοντας παρανοήσεις που είναι δύσκολο να διορθωθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Αναγκαιότητα της έρευνας

Σύμφωνα με το ελληνικό Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της Χημείας της Γ΄ Γυμνασίου, οι μαθητές διδάσκονται τις χημικές εξισώσεις της διάλυσης των οξέων και των βάσεων στο νερό, όπως αποτυπώνεται στους πίνακες 9 και 10.

Πίνακας 9: Από το σχολικό βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου⁴⁹

Πίνακας 1: Η διάλυση των οξέων στο νερό						
όνομα οξέος	διάλυμα οξέος		κατιόν		ανιόν	όνομα ανιόντος
υδροχλωρίο	HCl(aq)	→	H ⁺ (aq)	+	Cl ⁻ (aq)	ιόν χλωρίου
θειικό οξύ	H ₂ SO ₄ (aq)	→	2H ⁺ (aq)	+	SO ₄ ²⁻ (aq)	θειικό ιόν
νιτρικό οξύ	HNO ₃ (aq)	→	H ⁺ (aq)	+	NO ₃ ⁻ (aq)	νιτρικό ιόν
*οξικό οξύ	CH ₃ COOH(aq)	→	H ⁺ (aq)	+	CH ₃ COO ⁻ (aq)	οξικό ιόν

Πίνακας 10: Από το σχολικό βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου⁴⁹

Πίνακας 2: Η διάλυση των βάσεων στο νερό				
όνομα βάσης	χημικός τύπος		κατιόντα	ανιόντα
υδροξείδιο του νατρίου	NaOH _(s)	H ₂ O →	Na ⁺ _(aq)	+ OH ⁻ _(aq)
υδροξείδιο του καλίου	KOH _(s)	H ₂ O →	K ⁺ _(aq)	+ OH ⁻ _(aq)
υδροξείδιο του ασβεστίου	Ca(OH) _{2(s)}	H ₂ O →	Ca ²⁺ _(aq)	+ 2OH ⁻ _(aq)
υδροξείδιο του βαρίου	Ba(OH) _{2(s)}	H ₂ O →	Ba ²⁺ _(aq)	+ 2OH ⁻ _(aq)
*αμμωνία	NH _{3(aq)} + H ₂ O _(l)	H ₂ O →	NH ₄ ⁺ _(aq)	+ OH ⁻ _(aq)

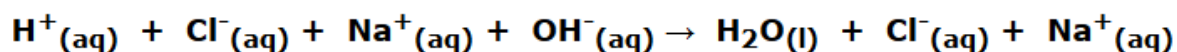
ενώ διαπραγματεύονται την αντίδραση εξουδετέρωσης σαν μια αντίδραση μεταξύ των ιόντων H⁺ και OH⁻ : **H⁺(aq) + OH⁻(aq) → H₂O(l)** (σελ. 27 του σχολικού)

Ο σχηματισμός ενός άλατος περιγράφεται με την ακόλουθη χημική εξίσωση:



και ενός δυσδιάλυτου άλατος: **Ba²⁺(aq) + SO₄²⁻(aq) → BaSO₄(s)↓** ενώ

παρατίθεται και η συνολική ιοντική εξίσωση της εξουδετέρωσης (total ionic equation):



Από τα παραπάνω αποσπάσματα διαπιστώνουμε μια προσέγγιση των αντιδράσεων αυτών με ιοντικές εξισώσεις. Βέβαια η γραφή των χημικών εξισώσεων των αντιδράσεων αυτών δεν είναι κάτι που μελετάται διεξοδικά σε αυτή την τάξη. Είναι στην Α΄ Λυκείου που ξεκινά μια πιο συστηματική μελέτη των αντιδράσεων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος ή αερίου καθώς και οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης. Για την διδασκαλία όμως των αντιδράσεων αυτών, εγκαταλείπονται ξαφνικά οι ιοντικές εξισώσεις και υιοθετούνται οι μοριακές.

Η ελληνική βιβλιογραφία έχει αναδείξει πλήθος παρανοήσεων των μαθητών πάνω στις έννοιες του χημικού δεσμού^{50,51} των οξέων, βάσεων και αλάτων⁵² και της διάλυσης μιας ουσίας στο νερό⁵³, θέματα που σχετίζονται με τα υδατικά διαλύματα των ενώσεων που συμμετέχουν στις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Οι παρανοήσεις αυτές εξακολουθούν να υπάρχουν μετά τη διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών και μεταξύ των άλλων εντοπίζονται στη σωματιδιακή φύση των ενώσεων στα υδατικά τους διαλύματα και στους μετασχηματισμούς κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Από την άλλη, έρευνες που επίσης έχουν γίνει στον ελληνικό χώρο^{22,23,36,54,55} διαπιστώνουν τη μεγάλη δυσκολία πλοήγησης των μαθητών εντός και μεταξύ των τριών επιπέδων Χημείας, μια ικανότητα που θεωρείται απόδειξη της καλής γνώσης του αντικειμένου. Ένας από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι ότι η κυρίαρχη διδακτική προσέγγιση στην Ελλάδα επικεντρώνεται πάρα πολύ στο χειρισμό των συμβόλων, εις βάρος της ουσιαστικής ανάλυσης και συζήτησης των συναφών μοντέλων της ύλης. Η έρευνα όμως, παγκόσμια, στη χημική εκπαίδευση έχει δείξει ότι οι μαθητές φαίνεται να αναπτύσσουν μια ικανότητα χειρισμού συμβολικών αναπαραστάσεων, σε κάποιο βαθμό, χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται ότι έχουν κατανοήσει τα υποκείμενα μοντέλα που δίνουν νόημα στα χημικά σύμβολα. Για το θέμα αυτό ο Talanquer¹⁷ αναφέρει ότι η υπομικροσκοπική έναντι της συμβολικής διχοτομίας θέτει ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα στη χημική εκπαίδευση: τη διαφορά μεταξύ της κατανόησης των υπομικροσκοπικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται από τους χημικούς για να περιγράψουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν τις ιδιότητες των χημικών ουσιών και διαδικασιών (από τη μια) και του να μάθουν να χειρίζονται την ευρεία ποικιλία των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στη Χημεία για να αντιπροσωπεύουν και να απεικονίζουν σημαντικά συστατικά τέτοιων μοντέλων (από την άλλη). Έτσι μπορεί να μαθαίνουν να συμπληρώνουν σωστά μια χημική εξίσωση, όμως αγνοούν τι σωματίδια υπάρχουν στο διάλυμα πριν και μετά την αντίδραση, όπως και τι αλλαγές πραγματοποιήθηκαν.

Στα ελληνικά σχολεία δεν δίνεται καθόλου έμφαση στο υπομικροσκοπικό επίπεδο και

αυτό επιτείνεται από το γεγονός της πενιχρής παρουσίας αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια Χημείας⁵⁶, μακροσκοπικών, συμβολικών και υπομικροσκοπικών που να συνδέονται μεταξύ τους, ώστε ο μαθητής να εξασκείται στο πέρασμα από το ένα επίπεδο στο άλλο. Με τη χρήση δε των μοριακών εξισώσεων στις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης που πραγματοποιούνται σε υδατικά διαλύματα, εδραιώνεται η λανθασμένη αντίληψη ότι οι ενώσεις που συμμετέχουν σε αυτές βρίσκονται με τη μορφή μορίων. Πεποίθησή μας λοιπόν είναι ότι πρέπει, κατά τη διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών, να διδάσκεται το πέρασμα από τις μοριακές στις ιοντικές εξισώσεις (total ionic equations) και τέλος στις καθαρά ιοντικές εξισώσεις (net ionic equations). Αυτό σε συνδυασμό με την ευρεία χρήση κατά τη διδασκαλία και αξιολόγηση, αναπαραστάσεων στα τρία επίπεδα Χημείας, θα βοηθήσει στην άρση πολλών παρανοήσεων. Η διδακτική πρόταση που δημιουργήσαμε, αποτελούμενη από το περιεχόμενο πέντε μαθημάτων, έχει αυτά τα δύο βασικά χαρακτηριστικά. Εξ όσων γνωρίζουμε, δεν έχει υπάρξει στον ελληνικό χώρο μια έρευνα που να αξιολογεί μια παρόμοια διδακτική πρόταση και να τη συγκρίνει με τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας που έχει επικρατήσει στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα και ο οποίος χρησιμοποιεί μοριακές εξισώσεις. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε την κινητήρια δύναμη για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

3.2 Σκοπός, ερευνητικές υποθέσεις και ερωτήματα

3.2.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση της επίδοσης των μαθητών μετά από την εφαρμογή δύο διδακτικών μεθόδων διδασκαλίας σε δύο ομάδες μαθητών, ώστε να αξιολογηθεί η προτεινόμενη – εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις – μέθοδος, έναντι αυτής που παραδοσιακά εφαρμόζεται στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα. Τα δεδομένα που θα προκύψουν να διατεθούν στην επιστημονική κοινότητα με στόχο την εφαρμογή μιας αποτελεσματικότερης μεθόδου διδασκαλίας της συγκεκριμένης θεματικής περιοχής.

3.2.2 Ερευνητικές υποθέσεις

Υποθέτουμε ότι η προτεινόμενη διδακτική προσέγγιση θα βοηθήσει τους μαθητές να αποκτήσουν, για το φαινόμενο των υπό μελέτη αντιδράσεων, μια αντίληψη που θα είναι πιο κοντά στην επιστημονική αντίληψη. Περιμένουμε αυτό να αποτυπωθεί στην μεγαλύτερη βελτίωση της επίδοσής τους από τον προέλεγχο στον μετα-έλεγχο έναντι της

αντίστοιχης βελτίωσης που θα παρουσιάσει η ομάδα ελέγχου. Υποθέτουμε ότι η διαφορά στη βελτίωση θα είναι μεγαλύτερη στις ερωτήσεις που αφορούν χημικές αντιδράσεις και σε αυτές στις οποίες ο μαθητής καλείται να επιχειρήσει σύνδεση ανάμεσα στο συμβολικό και στο υπομικροσκοπικό επίπεδο. Επίσης υποθέτουμε ότι η συχνότερη παρανόηση των μαθητών που θα συναντήσουμε, θα είναι ότι οι ενώσεις μέσα στο νερό, θα είναι όλες υπο μορφή μορίων. Τέλος υποθέτουμε ότι η έρευνά μας θα καταγράψει αρκετές από τις παρανοήσεις που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία.

3.2.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Στην πειραματική ομάδα εφαρμόστηκε μια μέθοδος διδασκαλίας των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης που ήταν εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και τη συχνή χρήση αναπαραστάσεων και στα τρία επίπεδα Χημείας, ιδιαίτερα το υπομικροσκοπικό, σε σύνδεση μεταξύ τους. Στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε η παραδοσιακή μέθοδος των μοριακών εξισώσεων. Με την έρευνά μας θελήσαμε να διαπιστώσουμε αν οι μαθητές που διδάχτηκαν την προτεινόμενη μέθοδο απέκτησαν μια καλύτερη γνώση του φαινομένου των αντιδράσεων αυτών σε σχέση με τους μαθητές που διδάχτηκαν με την παραδοσιακή μέθοδο. Το συμπέρασμα θα εξαχθεί από τις απαντήσεις που θα δοθούν στα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα που είναι τα παρακάτω:

- ✚ Οι μαθητές που διδάχτηκαν με την προτεινόμενη μέθοδο είναι σε θέση να δώσουν μια σωστότερη ερμηνεία για την παραγωγή ιζήματος σε μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης σε σχέση με αυτή που δίνουν οι μαθητές που διδάχτηκαν με μοριακές εξισώσεις;
- ✚ Οι μαθητές που διδάχτηκαν με την προτεινόμενη μέθοδο, έχουν αναπτύξει μεγαλύτερη ικανότητα στο να περνούν από το συμβολικό επίπεδο της χημικής εξίσωσης στο υπομικροσκοπικό, επιλέγοντας τη σωστή αναπαράσταση για τα σωματίδια που υπάρχουν στο υδατικό διάλυμα, μετά την πραγματοποίηση μιας αντίδρασης παραγωγής ιζήματος;
- ✚ Είναι μεγαλύτερο το ποσοστό μαθητών της πειραματικής ομάδας, έναντι αυτών της ομάδας ελέγχου, που αντιλαμβάνονται ποια είναι η «πραγματική» αντίδραση εξουδετέρωσης;
- ✚ Η πειραματική ομάδα απέκτησε μεγαλύτερη ικανότητα έναντι της ομάδας ελέγχου στην περιγραφή των σωματιδίων που υπάρχουν κατά την πραγματοποίηση μιας αντίδρασης σχηματισμού ιζήματος, κατά την έναρξη και κατά τη λήξη της;

- ✚ Η πειραματική ομάδα απέκτησε μεγαλύτερη ικανότητα έναντι της ομάδας ελέγχου, να περνά από το μακροσκοπικό ή το συμβολικό επίπεδο στο υπομικροσκοπικό, όταν δίνεται ο χημικός τύπος ή η μακροσκοπική εικόνα μιας ιοντικής ένωσης;
- ✚ Η πειραματική ομάδα παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, οι οποίοι διακρίνουν ανάμεσα στα οξέα, τις βάσεις και τα άλατα, ποιες είναι ιοντικές και ποιες μοριακές ενώσεις;
- ✚ Η πειραματική ομάδα απέκτησε μεγαλύτερη ικανότητα έναντι της ομάδας ελέγχου, στην επιλογή της σωστής υπομικροσκοπικής αναπαράστασης ενός υδατικού διαλύματος ενός ισχυρού οξέος;
- ✚ Η πειραματική ομάδα αντιλαμβάνεται σωστότερα από την ομάδα ελέγχου τη σωματιδιακή φύση ενός υδατικού διαλύματος ευδιάλυτου άλατος;

3.3 Επιγραμματική περιγραφή της έρευνας

Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση αφορά ένα κομμάτι από την ύλη της Χημείας της Α' τάξης του Γενικού Λυκείου. Για να επιτευχθούν οι στόχοι της έρευνας και να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που θέτει, επιλέχτηκε το δείγμα να απαρτίζεται από 137 μαθητές της Α' λυκείου (N=137), του σχολικού έτους 2020-21 οι οποίοι φοιτούσαν σε Ημερήσιο Γενικό Λύκειο των νοτίων προαστείων της Αθήνας (Δημόσιο Σχολείο). Οι μαθητές αυτοί χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και αποτέλεσαν την πειραματική ομάδα και την ομάδα ελέγχου.

Η πειραματική ομάδα αποτελείτο από 68 μαθητές (N= 68) της Α' λυκείου και σε αυτήν εφαρμόστηκε η εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης, η οποία αποτυπώθηκε στο περιεχόμενο πέντε μαθημάτων που δημιουργήσαμε.

Η ομάδα ελέγχου αποτελούνταν από 69 μαθητές (N=69) της Α' λυκείου και σε αυτήν εφαρμόστηκε η «παραδοσιακή» διδασκαλία των χημικών αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης με μοριακές εξισώσεις.

Η επιλογή των μαθητών για τις δύο ομάδες έγινε με τα κριτήρια που περιγράφονται στη παράγραφο 3.4.3 . Σαν όργανο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο με δέκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, το οποίο οι μαθητές συμπλήρωσαν δύο φορές: πριν τη διδασκαλία και μετά από αυτή. Έγινε επεξεργασία των δεδομένων που συνελέγησαν και αξιχθηκαν συμπεράσματα.

3.4 Το σχέδιο έρευνας

3.4.1 Ο Πειραματικός σχεδιασμός

3.4.1.1 Εισαγωγή στον πειραματικό σχεδιασμό - Το «κλασσικό» πείραμα

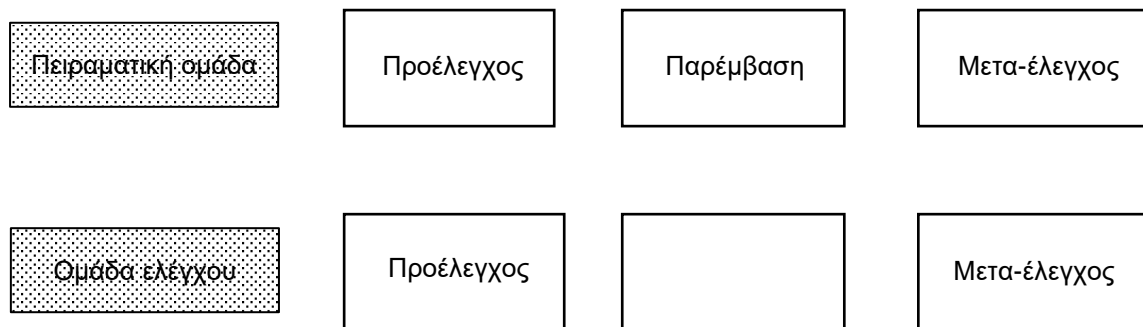
Αν και η άποψη ότι η πειραματική προσέγγιση είναι η μόνη μέθοδος που άμεσα επιλαμβάνεται της αιτιότητας είναι σήμερα αμφισβητήσιμη⁵⁷, εντούτοις μια πειραματική έρευνα είναι αυτή που παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή βεβαιότητα για τα πραγματικά περιγραφικά χαρακτηριστικά της και την αληθινή σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών⁵⁸. Αν αποδειχθεί ότι αυτή είναι σχέση αιτίου- αποτελέσματος, τότε έχει δοθεί απάντηση στο πρόβλημα της αιτιότητας και συνεπώς υπάρχει πλέον και δυνατότητα πρόβλεψης.

Ο πειραματικός σχεδιασμός που θα χρησιμοποιηθεί σε μια έρευνα έχει δύο βασικούς σκοπούς: α) να ελέγξει το παραδεκτό μιας μηδενικής υπόθεσης, δηλαδή να βεβαιώσει ή όχι, ότι - κάτω από ορισμένες ειδικά προσδιορισμένες συνθήκες - υπάρχει σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών και β) να εντοπίσει και να ελέγξει τις μεταβλητές που, ενώ δεν αποτελούν το επίκεντρο του ενδιαφέροντος του πειράματος, μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα και να δημιουργήσουν πειραματικά σφάλματα⁵⁹.

Η πειραματική έρευνα στο χώρο της εκπαίδευσης έχει σαν ουσιώδες χαρακτηριστικό ότι οι ερευνητές ηθελημένα χειρίζονται και ελέγχουν τις συνθήκες οι οποίες καθορίζουν το υπό μελέτη εκπαιδευτικό φαινόμενο⁶⁰

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές πειραματικού σχεδιασμού. Οι Campbell & Stanley⁶¹ επιχειρούν να καταγράψουν αρκετές από αυτές, εντοπίζοντας παράλληλα τις αδυναμίες που αντιμετωπίζει κάθε μία περίπτωση από άποψη εσωτερικής εγκυρότητας, θέμα που θα μας απασχολήσει παρακάτω.

Μια συνήθης περίπτωση πειραματικού σχεδιασμού – το «κλασσικό πείραμα» - είναι αυτή κατά την οποία το δείγμα χωρίζεται σε δύο ομάδες, την πειραματική ομάδα και την ομάδα ελέγχου με σκοπό να περιορισθούν κάποιοι κίνδυνοι που ενέχει ο σχεδιασμός μιας έρευνας. Τα άτομα στην πειραματική ομάδα συμμετέχουν σε πειραματική παρέμβαση, ενώ εκείνα στην ομάδα ελέγχου δεν συμμετέχουν. Τα αποτελέσματα από την ομάδα ελέγχου χρησιμεύουν για τη σύγκρισή τους με αυτά της πειραματικής προς εξαγωγή συμπερασμάτων. Η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μια ποιοτική μεταβλητή, συνήθως δύο τιμών: i) «ο συμμετέχων έχει δεχθεί την παρέμβαση» και ii) «ο συμμετέχων δεν έχει δεχθεί την παρέμβαση». Η εξαρτημένη μεταβλητή ή μεταβλητές είναι ένα σύνολο ποσοτικών μεταβλητών που θα μετρηθούν για να καταλήξουμε αν αποτελούν αποτέλεσμα της δράσης της ανεξάρτητης μεταβλητής.



Σχήμα 2: Ο "κλασικός" πειραματικός σχεδιασμός

Πραγματοποιείται ο προ-έλεγχος, δηλαδή καταμετρώνται ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. την επίδοσή τους σε μία γνωστική δοκιμασία) οι συμμετέχοντες στη πειραματική ομάδα και στην ομάδα ελέγχου. Στη συνέχεια, στην πειραματική ομάδα ασκείται η επιλεγείσα παρέμβαση (π.χ. μια εναλλακτική διδασκαλία, άρα εδώ η μέθοδος διδασκαλίας είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή) και ξαναμετράται ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. την επίδοσή της στην ίδια ή μια διαφορετική γνωστική δοκιμασία), διαδικασία που αποτελεί τον μετα-έλεγχο. Αντίθετα, στην ομάδα ελέγχου δεν εφαρμόζεται η παρέμβαση αυτή ή εφαρμόζεται μια διαφορετική παρέμβαση (π.χ. η παραδοσιακή διδασκαλία) άρα εδώ η ανεξάρτητη μεταβλητή παίρνει άλλη τιμή και στη συνέχεια διενεργείται μετα-έλεγχος και σε αυτήν. Το συμπέρασμα για το αν η παρέμβαση επηρεάζει το αποτέλεσμα, εξάγεται από τη σύγκριση των μετα-ελέγχων των δύο ομάδων. Ο πειραματικός σχεδιασμός όμως δεν περιλαμβάνει μόνο τις μεθόδους συγκέντρωσης αλλά και τις μεθόδους ανάλυσης των δεδομένων της έρευνας. Ειδικότερα, ο σχεδιασμός επεξηγεί και υποδεικνύει το είδος και τον τρόπο πραγματοποίησης των μετρήσεων, τον τρόπο ελέγχου των διαδικασιών του πειράματος, καθώς και τις εφικτές στατιστικές μεθόδους ανάλυσης με βάση τα δεδομένα. Ο πειραματικός σχεδιασμός ορίζει επίσης, σε γενικές γραμμές, τα δυνατά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων⁵⁹.

3.4.1.2 Εσωτερική εγκυρότητα μιας πειραματικής έρευνας

Ειπώθηκε ήδη ότι ο ερευνητής οφείλει να ελέγξει τις μεταβλητές που, ενώ δεν αποτελούν ανεξάρτητες μεταβλητές της έρευνας εντούτοις μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές των μετρούμενων εξαρτημένων μεταβλητών και να οδηγηθεί σε λανθασμένα συμπεράσματα. Με αυτό το θέμα σχετίζεται η εγκυρότητα, η οποία είναι μια ευρεία έννοια που αφορά την ίδια την ερευνητική διαδικασία (το σχέδιό της), τα ερευνητικά εργαλεία αλλά και την μέθοδο ανάλυσης.

Πηγές έλλειψης εσωτερικής εγκυρότητας... Το πρόβλημα της έλλειψης εσωτερικής εγκυρότητας αναφέρεται στο ενδεχόμενο τα συμπεράσματα που εξάγονται από πειραματικά αποτελέσματα να μην αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια ό,τι έχει συμβεί στο πείραμα αυτό καθαυτό. Οι Campbell & Stanley⁶¹ και οι Shadish & al⁶² όπως ήδη αναφέρθηκε, προσπάθησαν να καταγράψουν διαφορετικά είδη πειραματικών σχεδιασμών αλλά και να εντοπίσουν, για κάθε ένα από αυτά τις πηγές έλλειψης εσωτερικής εγκυρότητας που ενέχουν. Σαν τέτοιες πηγές, οι παραπάνω επιστήμονες (χρησιμοποιούμε τη δική τους ορολογία) αναφέρουν: i)το Ιστορικό, ii)την Ωρίμανση, iii)τον Έλεγχο, iv)τα Εργαλεία, v)τη Στατιστική Παλινδρόμηση, vi)την Επιλογή, vii)τη Πειραματική Διαρροή και viii)την Αλληλεπίδραση επιλογής-ωρίμανσης. Ας προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τους όρους αυτούς:

Ιστορικό (history): στο διάστημα μεταξύ του προελέγχου και του μετα-ελέγχου συμβαίνουν γεγονότα στον εξωτερικό κόσμο που μπορεί να αλλάξουν τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής στον μετα-έλεγχο, αλλαγές που λανθασμένα μπορούν να αποδοθούν στη παρέμβαση.

Ωρίμανση (maturation): Μεταξύ δυο παρατηρήσεων οι συμμετέχοντες αλλάζουν, μεγαλώνουν, ωριμάζουν. Το πρόβλημα είναι εντονότερο σε μακροχρόνιες έρευνες. Σε μια σύντομη εκπαιδευτική έρευνα οι συμμετέχοντες μπορεί να κουραστούν, να βαρεθούν, να αλλάξουν συμπεριφορά.

Έλεγχος (testing): Αφορά την υποβολή σε επαναλαμβανόμενο/ους έλεγχο/ους (π.χ. μετα-έλεγχο). Ας υποθέσουμε ότι δίνουμε ένα ερωτηματολόγιο σε μια ομάδα ως εργαλείο μέτρησης της προκατάληψης της πάνω σε ένα θέμα. Κατόπιν ασκούμε ένα ερέθισμα (μία παρέμβαση) και μετράμε ξανά την προκατάληψη. Εστω ότι τα αποτελέσματα του μετα-ελέγχου δείχνουν μικρότερη προκατάληψη. Αυτό όμως μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι συμμετέχοντες απέκτησαν μια ευαισθησία στο θέμα, όχι εξαιτίας αυτής καθεαυτής της παρέμβασης, αλλά η ενασχόλησή τους με το θέμα τους έκανε πιο προσεκτικούς στις απαντήσεις τους. Αφού μάλιστα μετά τον προέλεγχο ή κατά την διάρκεια της παρέμβασης θα έχουν αντιληφθεί το αντικείμενο της έρευνας, οι περισσότεροι θα θέλουν να δείχνουν ότι δεν είναι προκατειλημμένοι και θα δίνουν ανάλογες απαντήσεις κατά τον μετα-έλεγχο⁶³

Εργαλεία (instrumentation): Αν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε διαφορετικό ερωτηματολόγιο στον μετα-έλεγχο από αυτό του προελέγχου, υπάρχει περίπτωση

κάποιο από τα δύο να είναι πιο ευαίσθητο. Ή αν υπάρχουν καταμετρητές μπορεί τα κριτήριά τους να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Στατιστική παλινδρόμηση (statistical regression): Εμφανίζεται στη περίπτωση όπου οι ομάδες έχουν επιλεγεί με βάση τις ακραίες τιμές τους. Ο κίνδυνος που υπάρχει τότε είναι αλλαγές που συμβαίνουν στη μέτρηση μιας εξαρτημένης μεταβλητής εξαιτίας του γεγονότος ότι τα υποκείμενα εκκινούν από ακραίες τιμές, να αποδοθούν στις επιδράσεις της πειραματικής παρέμβασης. Ας υποθέσουμε ότι δοκιμάζουμε μια νέα μέθοδο διδασκαλίας της Χημείας σε μια ομάδα μαθητών με πολλαπλές μαθησιακές δυσκολίες. Μπορούμε βέβαια να υποθέσουμε ότι και χωρίς οποιαδήποτε πειραματική παρέμβαση είναι πολύ δύσκολο στον μετα-έλεγχο να έχουν χειρότερα αποτελέσματα απ' ό,τι στον προέλεγχο. Σε βάθος χρόνου το πιθανότερο είναι να παρουσιάσουν μια μικρή βελτίωση. Ο όρος που χρησιμοποιείται στη στατιστική για την περιγραφή αυτού του φαινομένου ονομάζεται «παλινδρόμηση προς το μέσο».

Επιλογή (selection): Όταν έχουμε συγκρίσεις μεταξύ ομάδων έχει μεγάλη σημασία ο τρόπος με τον οποίο καταρτίστηκαν οι ομάδες αυτές, δηλαδή το είδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε. Η δειγματοληψία γενικά θεωρείται επιτυχής όταν η επιλογή του δείγματος παράγει αποτελέσματα, δείκτες και μετρήσεις που είναι γενικεύσιμα και όσο το δυνατόν ακριβέστερα, δηλαδή βρίσκονται πιο κοντά στις αντίστοιχες παραμέτρους του πληθυσμού⁶⁴. Στην περίπτωση που το επιλεγμένο δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται, στα συμπεράσματα θα εμφανιστεί μεροληψία ως αποτέλεσμα του μεροληπτικού δείγματος. Ο όρος "μεροληπτικό" δεν υπονοεί ανεντιμότητα του ερευνητή, αλλά μόνο ότι τα χαρακτηριστικά του δείγματος δεν είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού⁵⁹. Το δείγμα που προκύπτει από το είδος δειγματοληψίας που ονομάζεται δειγματοληψία με πιθανότητα (probability sampling), γνωστό και ως τυχαίο δείγμα – θεωρείται ότι είναι αυτό που εξασφαλίζει μια ικανοποιητικότερη προσέγγιση στις εκτιμήσεις για την αληθή τιμή του πληθυσμού. Επιπλέον μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε και το σφάλμα εκτίμησης (της γενίκευσης)⁶⁴. Στη περίπτωση που έχουμε σύγκριση μεταξύ πειραματικής ομάδας και ομάδας ελέγχου προσπαθούμε να διασφαλίσουμε την μεγαλύτερη δυνατή πιθανότητα ισοδυναμίας, δηλαδή την ίση αναλογία μεταξύ των δύο ομάδων όλων των άλλων παραγόντων και χαρακτηριστικών των υποκειμένων, τα οποία πιθανόν επηρεάζουν τις μεταβλητές για τις οποίες ενδιαφέρεται ο ερευνητής⁵⁷. Οι συγκρίσεις δεν θα έχουν νόημα παρά μόνον εάν οι ομάδες είναι συγκρίσιμες κατά την έναρξη του πειράματος.

Πειραματική διαρροή (mortality): Συμβαίνει περισσότερο σε μακροχρόνια πειράματα όπου συμμετέχοντες μπορεί να εγκαταλείψουν την έρευνα προτού ολοκληρωθεί και έτσι τα υποκείμενα που παραμένουν έως το τέλος να διαφέρουν από το αμερόληπτο δείγμα με το οποίο ξεκίνησε η έρευνα.

Αλληλεπίδραση επιλογής με ωρίμανση (selection-maturation interaction) ή με *ιστορικό* ή με *έλεγχο*. Οι κίνδυνοι αυτοί ελλοχεύουν στους οιονεί πειραματικούς σχεδιασμούς.

3.4.1.3 Εξωτερική εγκυρότητα μιας πειραματικής έρευνας

Ουσιαστικά η εξωτερική εγκυρότητα διατυπώνει το ερώτημα: «Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα μιας έρευνας σε ποιους πληθυσμούς ή περιβάλλοντα μπορούν να γενικευτούν;». Όπως και στην εσωτερική εγκυρότητα, οι ερευνητικοί σχεδιασμοί περιέχουν επιλογές στους χειρισμούς που μπορεί να αποτελούν απειλές για την εξωτερική εγκυρότητα. Συνοπτικά αναφέρουμε μερικές⁵⁷:

Ελλιπής εκπροσώπηση των διαθέσιμων πληθυσμών και των πληθυσμών-στόχων όπου οι συμμετέχοντες είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα του διαθέσιμου πληθυσμού, όχι όμως του πληθυσμού για τον οποίον επιδιώκεται η γενίκευση, εν ολίγοις φτωχή δειγματοληψία.

Ανεπαρκής λειτουργικότητα εξαρτημένων μεταβλητών: για παράδειγμα, είναι αμφισβητήσιμο το κατά πόσον οι απαντήσεις για την επιλογή επαγγέλματος σε ένα χειρόγραφο ερωτηματολόγιο έχουν σχέση με τις απαντήσεις που δίνονται στη πραγματική ζωή.

Έλλειψη ακριβούς περιγραφής ανεξάρτητων μεταβλητών εξ αιτίας της οποίας μελλοντικές αναπαραγωγές των συνθηκών είναι ανέφικτες.

Αντιδραστικότητα (reactivity) Η αντιδραστικότητα είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται όταν τα άτομα αλλάζουν την απόδοση ή τη συμπεριφορά τους λόγω της επίγνωσης ότι παρατηρούνται. Η αλλαγή μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Το *φαινόμενο Χόθορν* (Hawthorne effect) το οποίο θεωρείται η «αχίλλειος πτέρνα» των συμμετοχικών ερευνών, ήδη από τη δεκαετία του 1920 που ανακαλύφθηκε, είναι μία μορφή αντιδραστικότητας που εμφανίζεται στην έρευνα και κατά την οποία οι συμμετέχοντες σε ένα πείραμα αλλάζουν την συμπεριφορά τους εξ αιτίας της προσοχής που εισπράττουν από τους ερευνητές. Τα placebos και η μέθοδος όπου ούτε ο ερευνητής ούτε ο συμμετέχων γνωρίζει τον σκοπό της έρευνας (double blind designs) είναι κάποιοι από τους τρόπους εξουδετέρωσης της μεροληψίας που προκύπτει.

3.4.2 Επιλογή σχεδίου για τη συγκεκριμένη έρευνα: το σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου, ένα οιονεί πειραματικό σχέδιο.

Σε μια εκπαιδευτική έρευνα που διεξάγεται εντός του σχολείου, συχνά είναι δύσκολο ή και αδύνατο - προκειμένου να μην διαταραχθεί η ομαλή λειτουργία της μαθησιακής διαδικασίας - η επιλογή του δείγματος να γίνει με βάση τις αρχές της τυχαίας δειγματοληψίας. Αυτό που γίνεται συνήθως είναι η χρησιμοποίηση έτοιμων-διαθέσιμων ομάδων (συμππωματικά δείγματα), όπως είναι για παράδειγμα οι σχολικές τάξεις⁶⁵. Τέτοιου είδους έρευνες είναι «κάτι σαν» πειραματικές και γι' αυτό έχει επικρατήσει ο όρος «οιονεί πειραματικές» (Quasi-Experimental design).

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει και η έρευνά μας. Αφορά τη σύγκριση δύο μεθόδων διδασκαλίας των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης οι οποίες εντάχθηκαν στο πλαίσιο του μαθήματος της Χημείας Α' λυκείου. Υπήρξε προέλεγχος (pretest) και μετα-έλεγχος (posttest) και για τις δύο ομάδες, την πειραματική και την ομάδα ελέγχου. Ανάμεσά τους μεσολάβησε διδασκαλία πέντε διδακτικών ωρών με διαφορετική μέθοδο στη καθεμία ομάδα. Η διδασκαλία και στις δύο ομάδες έγινε από τον ίδιο εκπαιδευτικό (συγκεκριμένα τον ερευνητή). Η επιλογή αυτή έγινε προκειμένου να μην υπεισέλθει και ο παράγοντας εκπαιδευτικός (στη περίπτωση που αναλάμβαναν τη διδασκαλία δυο διαφορετικοί καθηγητές) που θα δρούσε και ως μια άλλη μεταβλητή που θα συσκοτίζε τα αποτελέσματα, αφού ήταν πολύ πιθανό να επιδρούσε στην εξαρτημένη μεταβλητή, την επίδοση δηλαδή των μαθητών στο μετα-έλεγχο.

Η ομάδα ελέγχου και η πειραματική ομάδα σχηματίστηκαν από έτοιμα τμήματα μαθητών της Α' λυκείου. Συνεπώς δεν υπήρξε κάποια προ-πειραματική δειγματοληψία ισοδυναμίας. Γι' αυτό και ο σχεδιασμός αυτός ονομάζεται «Σχεδιασμός μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου» (the Nonequivalent Control Group Design). Τέλος το ποια θα είναι η πειραματική ομάδα και ποια η ελέγχου αποφασίστηκε στη τύχη.

Το σχήμα 3 περιγράφει τον πειραματικό σχεδιασμό που εφαρμόστηκε. Χρησιμοποιήθηκαν σύμβολα από το βιβλίο των Cambell και Stanley (1963). Το Χ αντιπροσωπεύει την έκθεση μιας ομάδας σε ένα ερέθισμα ή γεγονός. Στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για τη μέθοδο διδασκαλίας που εφαρμόστηκε σε κάθε ομάδα: Χ₁ η προτεινόμενη διδασκαλία (εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και αναπαραστάσεις) που εφαρμόστηκε στην πειραματική ομάδα και Χ₀ η παραδοσιακή διδασκαλία (με μοριακές εξισώσεις) στην ομάδα ελέγχου. Το Ο αναφέρεται στη διαδικασία παρατήρησης ή μέτρησης. Σαν εργαλείο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε γνωστικό τεστ δέκα ερωτήσεων

πολλαπλής επιλογής, ίδιο και για τις δύο ομάδες, τόσο σαν pretest όσο και σαν posttest. Τα Χ και Ο που βρίσκονται στην ίδια σειρά εφαρμόζονται στα ίδια πρόσωπα. Χ και Ο που βρίσκονται το ένα κάτω από το άλλο συμβαίνουν ταυτόχρονα. Παράλληλες γραμμές που διαχωρίζονται από μια διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύουν ομάδες οι οποίες δεν έχουν προέλθει από τυχαία δειγματοληψία.

Πειραματική ομάδα	Ο	Χ ₁	Ο
Ομάδα ελέγχου	Ο	Χ ₀	Ο

Σχήμα 3: Ο οιονεί πειραματικός σχεδιασμός της έρευνας: το «σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου»

3.4.3 Εγκυρότητα της συγκεκριμένης έρευνας.

Αναφερθήκαμε στην 3.4.1.2 στις πηγές έλλειψης εγκυρότητας μιας έρευνας. Η ύπαρξη όμως ομάδας ελέγχου είναι κάτι που ισχυροποιεί μια έρευνα αφού δίνει τη δυνατότητα ελέγχου ή και εξουδετέρωσης αρκετών από αυτές τις απειλές για την εγκυρότητα, στο βαθμό που οι δύο ομάδες, πειραματική και ομάδα ελέγχου

- α) είναι ισοδύναμες,
- β) συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο σε ίδιες συνθήκες,
- γ) κατά τη διάρκεια της έρευνας εκτίθενται στις ίδιες ή ακριβώς ανάλογες συνθήκες,
- δ) η μόνη τους διαφορά είναι η έκθεσή τους ή όχι, στην πειραματική παρέμβαση που αποτελεί και την ανεξάρτητη μεταβλητή της έρευνας.

Κατά την παρούσα έρευνα δόθηκε η δέουσα προσοχή ώστε να εξασφαλισθούν οι προϋποθέσεις γ) και δ) ενώ όπως θα αναφερθούμε παρακάτω, διαπιστώθηκε ότι σε μεγάλο βαθμό ίσχυσαν οι προϋποθέσεις α) και β).

Ιδιαίτερα η ισοδυναμία των δύο ομάδων είναι καθοριστικός παράγων διότι αν δεν υφίσταται, μπορούμε με σχεδόν βεβαιότητα να προβλέψουμε ότι τα αποτελέσματα στον μετα-έλεγχο των δύο ομάδων θα διαφέρουν, χωρίς να μπορούμε να αποδώσουμε τη διαφορά αυτή στην επίδραση του Χ. Αντίθετα όσο επιβεβαιώνεται η ισοδυναμία των δύο ομάδων κατά τον προέλεγχο, τόσο πιο πολύ αποτελεσματική και έγκυρη γίνεται η έρευνα. Όπως ειπώθηκε ήδη, στην έρευνα αυτή δεν υπήρξε κάποια προ-πειραματική δειγματοληψία ισοδυναμίας. Πώς λοιπόν αποφασίστηκε ποια τμήματα θα αποτελούν την πειραματική ομάδα και ποια την ομάδα ελέγχου; Η επιλογή των τμημάτων για τις δύο ομάδες έγινε με κριτήριο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ισοδυναμία των δύο ομάδων όσον αφορά την επίδοση των μαθητών στη Χημεία, σύμφωνα με τις αρχικές εντυπώσεις από τις προσλαμβάνουσες που είχαμε κατά τη διάρκεια των μαθημάτων που προηγήθηκαν της εκκίνησης της έρευνας.

Τα αποτελέσματα του pretest έδειξαν ότι οι δύο ομάδες ήταν όντως ισοδύναμες (βλέπε παράγραφο 4.3.2.2) και ως εκ τούτου δεν απαιτήθηκαν ανατροπές του αρχικού σχεδιασμού. Εξάλλου υπήρχε ήδη η πρόβλεψη, τα συμπεράσματα να βασιστούν, εκτός από τη σύγκριση στην επίδοση μεταξύ των δύο ομάδων στο posttest, κυρίως στη σύγκριση μεταξύ της βελτίωσης της επίδοσης της μιας ομάδας σε σχέση με τη βελτίωση της άλλης.

Οφείλουμε να εξετάσουμε διεξοδικά, από ποιές πηγές έλλειψης εσωτερικής εγκυρότητας όπως αυτές αναπτύχθηκαν στην 3.4.1.2. απειλείται ένας σχεδιασμός σαν αυτός που εφαρμόσαμε. Οι Campbell & Stanley (1963), θεωρούν ότι για το συγκεκριμένο σχέδιο, δηλαδή για το «σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου» (the nonequivalent control group design), μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ελέγχει τα αποτελέσματα όλων των απειλών που προαναφέρθηκαν εκτός της αλληλεπίδρασης επιλογής - ωρίμανσης (και άλλων

TABLE 2

SOURCES OF INVALIDITY FOR QUASI-EXPERIMENTAL DESIGNS 7 THROUGH 12

	Sources of Invalidity											
	Internal							External				
	History	Maturation	Testing	Instrumentation	Regression	Selection	Mortality	Interaction of Selection and Maturation, etc.	Interaction of Testing and X	Interaction of Selection and X	Reactive Arrangements	Multiple-X Interference
<i>Quasi-Experimental Designs:</i>												
7. Time Series <i>O O O OXO O O O</i>	-	+	+	?	+	+	+	+	-	?	?	
8. Equivalent Time Samples Design <i>X₁O X₀O X₁O X₀O, etc.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	?	-	-
9. Equivalent Materials Samples Design <i>M₀X₁O M₀X₀O M₀X₁O M₀X₀O, etc.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	?	?	-
10. Nonequivalent Control Group Design <i>O X O</i> <i>O O O</i>	+	+	+	+	?	+	+	-	-	?	?	

Εικόνα 4: Απόσπασμα πίνακα από το βιβλίο των Campbell & Stanley

αλληλεπιδράσεων όπως επιλογής- ιστορικού, επιλογής – ελέγχου) και εκτός ίσως της παλινδρόμησης. Η εικόνα 4 περιέχει απόσπασμα από το βιβλίο των ερευνητών αυτών⁶¹ όπου στην τελευταία γραμμή του πίνακα αποτυπώνεται η παραπάνω άποψη.

Ας εξετάσουμε τους κινδύνους εγκυρότητας για την έρευνα μας πιο αναλυτικά. Κατ' αρχήν πρόκειται για μία έρευνα που δεν είναι μακροχρόνια. Το χρονικό διάστημα μεταξύ pretest και posttest είναι περίπου ένας μήνας. Αυτό όπως είναι ευνόητο συνεπάγεται τον δραστικό περιορισμό των κινδύνων που προκύπτουν από το *ιστορικό, την ωρίμανση, την πειραματική διαρροή και τις αλληλεπιδράσεις αυτών των παραγόντων*. Επιπλέον η ύπαρξη πέραν της πειραματικής και της ομάδας ελέγχου ελέγχει το *ιστορικό, την ωρίμανση και τον έλεγχο* με την εξής έννοια: αν αυτοί οι παράγοντες ή κάποιιοι από αυτούς, είχαν δημιουργήσει μια διαφορά στα αποτελέσματα της πειραματικής ομάδας μεταξύ προελέγχου και μετα-ελέγχου (τεστ μετά – τεστ πριν, για την πειραματική ομάδα ή αλλιώς O₂-O₁), θα παρήγαγαν επίσης μια αντίστοιχη διαφορά στα αποτελέσματα της ομάδας ελέγχου μεταξύ προελέγχου και μετα-ελέγχου (τεστ μετά – τεστ πριν, για την ομάδα ελέγχου ή αλλιώς O₄-O₃).

Σχετικά με το *ιστορικό*: Αξίζει να αναφερθεί ότι το pretest και η διδακτική παρέμβαση διεξήχθησαν και για τις δύο ομάδες, με μεθόδους εξ αποστάσεως διδασκαλίας λόγω των μέτρων κατά του κορωνοϊού, αλλά το posttest διεξήχθη δια ζώσης αφού συνέπεσε χρονικά με την επιστροφή των μαθητών στα σχολεία. Θεωρούμε, με μια σχετική βεβαιότητα, ότι δεν συνέβησαν κάποια ιδιαίτερα γεγονότα στον έξω κόσμο, μεταξύ pretest και posttest που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα του posttest κάποιας ομάδας (εξαιρουμένης φυσικά της μεθόδου διδασκαλίας) με διαφορετικό τρόπο από την άλλη ομάδα. Οι έλεγχοι και η διδακτική παρέμβαση συνέβησαν στα ίδια χρονικά σημεία και για τις δύο ομάδες.

Σχετικά με την *ωρίμανση*: δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση στη συμπεριφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες κατά τη διάρκεια όλης της έρευνας. Η έρευνα είχε ενταχθεί στο πλαίσιο του τυπικού προγράμματος σπουδών και οι μαθητές συμμετείχαν καθ' όλη τη διάρκειά της χωρίς σημάδια κόπωσης.

Σχετικά με τον *έλεγχο*: ο κίνδυνος εγκυρότητας από τον παράγοντα αυτό αντισταθμίζεται από την ύπαρξη της ομάδας ελέγχου. Ο προέλεγχος και ο μετα-έλεγχος έγιναν με τον ίδιο τρόπο την ίδια χρονική στιγμή στις δύο ομάδες. Και οι δυο ομάδες γνώριζαν ότι συμμετέχουν στην έρευνα.

Σχετικά με την *στατιστική παλινδρόμηση*: καμμία από τις δύο ομάδες δεν σχηματίστηκε με βάση ακραίες τιμές κάποιας μεταβλητής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι δύο ομάδες είχαν την ίδια επίδοση (σχεδόν ίδια μέση τιμή) στο pretest. Κατά συνέπεια δεν υφίσταται αυτός ο κίνδυνος. Τέλος δεν εφαρμόστηκε κατά τη δειγματοληψία η μέθοδος

του «συνταιριάσματος» (matching), η οποία στη περίπτωση που οι μέσες τιμές των ομάδων είναι διαφορετικές, δημιουργεί φαινόμενο παλινδρόμησης.

Σχετικά με τα εργαλεία: χρησιμοποιήθηκε το ίδιο γνωστικό τεστ τόσο σαν pretest όσο και σαν posttest και στις δύο ομάδες. Στον προέλεγχο απαντήθηκε κατά τη διάρκεια ενός μαθήματος εξ αποστάσεως, ενώ στον μετα-έλεγχο κατά τη διάρκεια ενός δια ζώσης μαθήματος.

Σχετικά με την επιλογή: Μπορεί τα δείγματα των δύο ομάδων να μην σχηματίστηκαν με τυχαία δειγματοληψία, αλλά με χρήση έτοιμων τάξεων, όμως (όπως ήδη εξηγήθηκε) υπήρξε προσπάθεια οι 2 ομάδες που θα προέκυπταν να ήταν ισοδύναμες. Όντως οι δύο ομάδες αποδείχθηκαν ισοδύναμες με βάση τα αποτελέσματα των προελέγχων τους (pretest). Ο όρος «σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου» που χαρακτηρίζει το είδος της έρευνας αυτής, έχει το νόημα ότι οι δύο ομάδες δεν σχηματίστηκαν με τυχαία δειγματοληψία, ως εκ τούτου δεν ήταν εκ προοιμίου ισοδύναμες. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να αποδειχθούν ισοδύναμες στη συνέχεια, όπως και συνέβη.

Σχετικά με την πειραματική διαρροή: ο αριθμός των συμμετεχόντων παρέμεινε σταθερός από την αρχή της έρευνας μέχρι το τέλος.

Σχετικά με την αλληλεπίδραση επιλογής-ωρίμανσης ή άλλες αλληλεπιδράσεις Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4, αυτός ο κίνδυνος θεωρείται από τους Campbell & Stanley⁶¹ ως απειλή για την εγκυρότητα μιας έρευνας που ακολουθεί τον σχεδιασμό της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου. Είναι όντως πιθανό δύο ομάδες που λόγω του τρόπου επιλογής (όχι τυχαία δειγματοληψία) δεν είναι ισοδύναμες, να εμφανίσουν μια διαφορετική εξέλιξη στη πορεία, η οποία δεν θα οφείλεται στην ανεξάρτητη μεταβλητή Χ. Στην δικιά μας όμως έρευνα οι ομάδες απεδείχθηκαν ισοδύναμες στο pretest. Παρ' όλα αυτά ακόμη και όταν οι ομάδες είναι πανομοιότυπες σε βαθμολογίες προ-δοκιμών η υπόθεση της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιλογής και ωρίμανσης είναι περιστασιακά βάσιμη και βαραίνει και την συγκεκριμένη έρευνα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή όπου η μια ομάδα έχει υψηλότερο ποσοστό ωρίμανσης ή αυτόνομης αλλαγής από το άλλο.

Σχετικά με άλλα προβλήματα που οφείλονται σε κοινωνικές αλληλεπιδράσεις όπως η διάχυση της πειραματικής παρέμβασης στην ομάδα ελέγχου ή η ανάπτυξη συναισθημάτων μειονεξίας εντός της ομάδας ελέγχου: Οι μαθητές των δύο ομάδων γνώριζαν ότι αποτελούσαν τα υποκείμενα της έρευνας. Όμως από τη στιγμή που αυτή είχε ενταχθεί στο πλαίσιο του τυπικού προγράμματος σπουδών τους και η διδακτική παρέμβαση είτε με την πειραματική μέθοδο, είτε με την παραδοσιακή μέθοδο είχε σαν αντικείμενο, μέρος της διδακτέας ύλης τους, δεν γνώριζαν ούτε τους είχε γνωστοποιηθεί,

ποιοι αποτελούσαν την πειραματική ομάδα και ποιοι την ομάδα ελέγχου. Συνεπώς οι κίνδυνοι αυτοί εξέλιπταν.

Σχετικά με την *αντιδραστικότητα*: Όλοι οι μαθητές που έλαβαν μέρος, γνώριζαν ότι συμμετέχουν στην έρευνα. Επίσης γνώριζαν την προσωπικότητα του ερευνητή αφού ήταν ο καθηγητής τους, ήδη μήνες πριν την έναρξη της έρευνας. Από την αρχή είχαν δοθεί προσεκτικές εξηγήσεις για την σημασία της συμμετοχής τους και φυσικά υπήρξε μακροχρόνια παρουσία του ερευνητή στο πεδίο. Δηλαδή είχαν ληφθεί μέτρα που θεωρούνται και από την βιβλιογραφία⁵⁷ ότι περιορίζουν τον κίνδυνο μεροληψίας από τον παράγοντα της αντιδραστικότητας. Το αντικείμενο της διδασκαλίας ήταν μέρος της διδακτέας ύλης. Αυτό που δεν γνώριζαν οι μαθητές ήταν ότι υπήρχαν δύο ομάδες και το σε ποια ομάδα ανήκε ο καθένας.

Εν κατακλείδι, αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι έγινε προσπάθεια να παρουσιαστεί στους μαθητές το θέμα της συμμετοχής τους στην έρευνα, όχι σαν κάποιο εξαιρετικό γεγονός αλλά σαν κάτι φυσικό και ενταγμένο στην εκπαιδευτική διαδικασία. Αυτό, μαζί με τις άλλες επιλογές που προαναφέρθηκαν, κρίθηκε ότι θα συντελούσαν στην εξασφάλιση της μεγαλύτερης δυνατής εγκυρότητας στην συγκεκριμένη έρευνα.

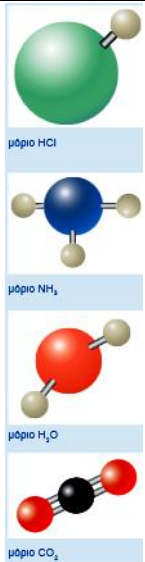
3.5 Σχέδια μαθημάτων και πρότερες ενέργειες

Η έρευνα διεξήχθη το σχολικό έτος 2020-21. Οι επίσημες οδηγίες που είχαν δοθεί από το Υπουργείο Παιδείας για το μάθημα της Χημείας Α΄ Λυκείου, δεν περιελάμβαναν τη διδασκαλία των παραγράφων 3.2 (οξέα-βάσεις) και 3.4 (άλατα), θεωρώντας ότι η ύλη αυτή έχει διδαχθεί στη Γ΄ Γυμνασίου. Όταν όμως οι μαθητές του δείγματος ήταν στη Γ΄ Γυμνασίου οι οδηγίες που είχαν δοθεί τότε για την τάξη τους, ήταν τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα να διδαχθούν στο τέλος του σχολικού έτους. Λόγω όμως κορωνοϊού τα σχολεία στο δεύτερο ήμισυ εκείνου του σχολικού έτους έκλεισαν και η διδασκαλία συνεχίστηκε μετέμπροδίων, πιο συχνά με ασύγχρονο τρόπο παρά με σύγχρονο (τηλεκπαίδευση). Ήταν λοιπόν πιθανόν οι μαθητές του δείγματος, στην καλύτερη περίπτωση, να είχαν διδαχθεί την ύλη αυτή πλημμελώς. Γι' αυτό θεωρήσαμε σκόπιμο να την εντάξουμε στην αλληλουχία των μαθημάτων, με διαφορετικό όμως τρόπο για τις δύο ομάδες. Στην ομάδα Ελέγχου εφαρμόστηκε η παραδοσιακή διδασκαλία αυτού του κομματιού της ύλης. Στην Πειραματική ομάδα η αντιμετώπιση ήταν να παρουσιαστούν τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα με έμφαση κυρίως στη σωματιδιακή τους κατάσταση, έξω από το νερό και μέσα σε αυτό, με τη βοήθεια αναπαραστάσεων, σύμφωνα με το περιεχόμενο της 1^{ης} κυρίως διδακτικής ώρας.

3.5.1 Πρότερες ενέργειες και για τις δύο ομάδες

Γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι στην Πειραματική ομάδα η μέθοδος διδασκαλίας των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης θα ήταν εμπλουτισμένη και με αναπαραστάσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο, επιδιώξαμε από την έναρξη των μαθημάτων της Α΄ Λυκείου να εξοικειώσουμε τους μαθητές και των δύο ομάδων στις αναπαραστάσεις αυτές. Θελήσαμε με αυτόν τον τρόπο να αποφύγουμε ένα προκατασκευασμένο αποτέλεσμα που θα αδικούσε την ομάδα Ελέγχου – αν αυτή δεν είχε καμμία εξοικείωση – τη στιγμή που γνωρίζαμε ότι το γνωστικό τεστ θα περιείχε ερωτήσεις τέτοιου είδους. Γι' αυτό και

Πίνακας 11: Σχήματα σχολικού βιβλίου και ασκήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα μαθήματα

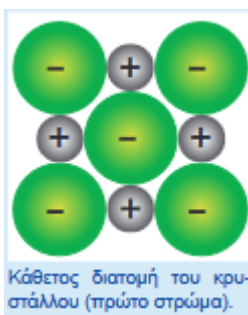


μόριο HCl


μόριο NH₃

μόριο H₂O

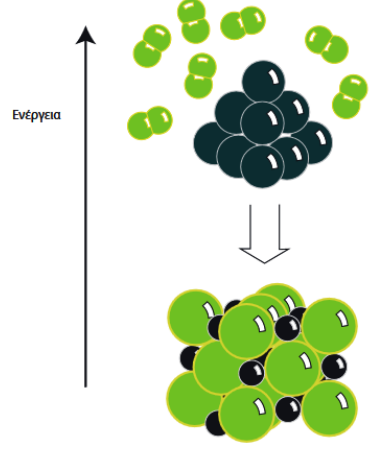
μόριο CO₂



Κάθετος διατομή του κρυστάλλου (πρώτο στρώμα).



Η διάλυση του NaCl(s) στο νερό προκαλεί διάσπαση στον κρύσταλλο, οπότε τα ιόντα κινούνται ελεύθερα (καλός αγωγός του ηλεκτρισμού).



Ενέργεια

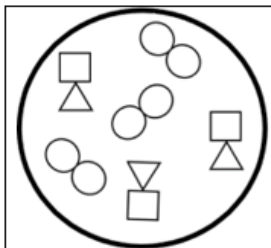
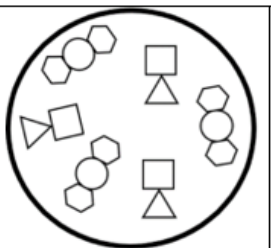
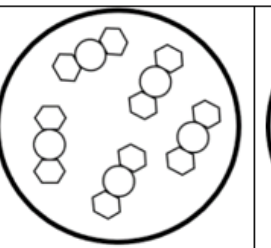
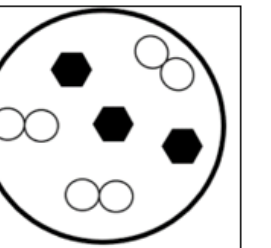
ΣΧΗΜΑ 2.7 Απεικόνιση του κρυστάλλου NaCl (συμπαγή μορφή). Το τελευταίο σχήμα δίνει τη φωτογραφική εικόνα του NaCl, όπως εμφανίζεται στον μακροκόσμο.

ΣΧΗΜΑ 2.6 Σχηματισμός κρυστάλλου NaCl από Na(s) και Cl₂(g). Παρατηρήστε ότι τα ιόντα Na⁺, που προκύπτουν με αποβολή ηλεκτρονίων, έχουν μικρότερο μέγεθος από τα άτομα Na (αργυρόχρωμες σφαίρες), ενώ τα ανιόντα Cl⁻ που προκύπτουν με πρόσληψη ηλεκτρονίων έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τα άτομα Cl (κίτρινοπράσινες σφαίρες). Επίσης μη ξεχνάτε ότι ο ιοντικός δεσμός οδηγεί το σύστημα σε χαμηλότερη ενέργεια, όπως παραστατικά παρουσιάζεται στο σχήμα.

Αν τα 5 γεωμετρικά σχήματα (κύκλος, τρίγωνο, τετράγωνο, πεντάγωνο, εξαγώνο) αντιπροσωπεύουν άτομα 5 διαφορετικών στοιχείων, να κάνετε την σωστή αντιστοίχιση για το τι περιέχει καθένα από τα 4 δοχεία γράφοντας στα αποσιωπητικά το κατάλληλο γράμμα. Οι επιλογές σας είναι :

α. Μίγμα 2 χημικών ενώσεων **β.** Μίγμα 2 χημικών στοιχείων **γ.** Χημικό στοιχείο

δ. Χημική ένωση **ε)** Μίγμα χημικού στοιχείου και χημικής ένωσης **στ)** Τριατομικό χημικό στοιχείο

			
Δοχείο 1 →	Δοχείο 2 →	Δοχείο 3 →	Δοχείο 4 →

έγινε χρήση τέτοιων αναπαραστάσεων σε διάφορα σημεία της ύλης από διάφορες πηγές, όπως το σχολικό βιβλίο⁴⁰ ή ασκήσεις για διάκριση των εννοιών «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» και «μίγμα» που δόθηκαν από τον διδάσκοντα (βλέπε πίνακα 8).

3.5.2 Η αλληλουχία μαθημάτων της προτεινόμενης μεθόδου.

1^η διδακτική ώρα: Οξέα, βάσεις, άλατα και τα υδατικά τους διαλύματα.

Στόχοι: Στο τέλος της διδακτικής ώρας, θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν

1. Να αναγνωρίζουν από τους χημικούς τους τύπους τα οξέα, τις βάσεις και τα άλατα.
2. Να προσδιορίζουν τα δομικά σωματίδια (μόρια ή ιόντα) των ενώσεων αυτών και να επιλέγουν την κατάλληλη αναπαράστασή τους.
3. Να περιγράφουν τον μηχανισμό διάστασης των ιοντικών ενώσεων στα υδατικά τους διαλύματα και να επιλέγουν την κατάλληλη αναπαράστασή τους.
4. Να γράφουν την χημική εξίσωση της ηλεκτρολυτικής διάστασης.
5. Να περιγράφουν τον ιοντισμό των οξέων και της αμμωνίας και να επιλέγουν την κατάλληλη αναπαράσταση των υδατικών τους διαλυμάτων
6. Να γράφουν την χημική εξίσωση του ιοντισμού ενός ισχυρού οξέος.
7. Να ερμηνεύουν την αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτών ως αποτέλεσμα της σωματιδιακής μορφής των υδατικών τους διαλυμάτων.

Η πορεία του μαθήματος ακολουθεί το περιεχόμενο του αρχείου παρουσίασης (αριστερή στήλη στον πίνακα 12) που χρησιμοποιήθηκε στο μάθημα αυτό, το οποίο διεξήχθη με τη μέθοδο της σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας.

Πίνακας 12: Σχέδιο μαθήματος 1ης διδακτικής ώρας

<p style="text-align: center;">1^ο Μάθημα Τα οξέα, οι βάσεις, τα άλατα, και τα υδατικά τους διαλύματα</p> <p>Στο μάθημα αυτό θα ασχοληθούμε με</p> <ul style="list-style-type: none">➤ τα οξέα➤ οι βάσεις➤ και τα άλατα <p>τα δομικά τους σωματίδια αλλά και με το τι συμβαίνει όταν διαλύουμε τις ενώσεις αυτές στο νερό.</p> <p>Θα μάθουμε:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Να επιλέγουμε την κατάλληλη αναπαράσταση για τις ενώσεις αυτές και για τα υδατικά τους διαλύματα.✓ Να γράφουμε τις χημικές εξισώσεις για τη διάλυσή τους στο νερό✓ Να ερμηνεύουμε την αγωγιμότητα των υδατικών τους διαλυμάτων.	<p>1^η φάση</p> <p>Ενημερώνουμε τους μαθητές για το θέμα του μαθήματος, εξηγώντας την αναγκαιότητά του και ανακοινώνοντας κάποιους από τους στόχους του.</p>
---	---

Οι **αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης** καθώς και η **αντίδραση εξουδετέρωσης**

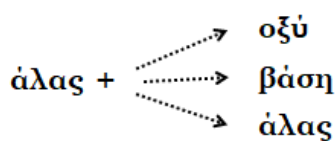
που θα μας απασχολήσουν στα επόμενα μαθήματα, είναι αντιδράσεις μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών δηλαδή αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν

- ✓ **οξέα**
- ✓ **βάσεις**
- ✓ **και άλατα**

2

Πιο συγκεκριμένα:

- Οι **αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης** είναι αντιδράσεις μεταξύ ενός άλατος από τη μια και ενός οξέος ή βάσης ή άλλου άλατος από την άλλη



- Η **αντίδραση εξουδετέρωσης** είναι $\text{οξύ} + \text{βάση} \longrightarrow \text{άλας} + \text{νερό}$

3

Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται μέσα σε **υδατικά διαλύματα**.

Κατά συνέπεια έχουμε **οξέα, βάσεις και άλατα που αντιδρούν μέσα σε νερό**.

Ας εξετάσουμε λοιπόν ποια είναι η **πραγματική μορφή** που έχουν οι ενώσεις αυτές έξω αλλά και μέσα στο νερό.

4

1) Τα άλατα.

- έχουν γενικό τύπο: M_xA_y

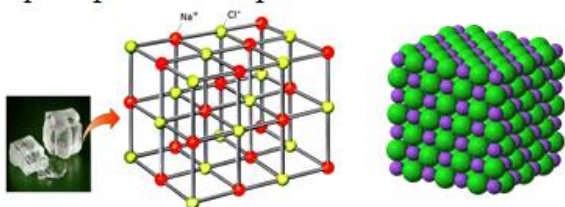
M	A
ión μετάλλου M^{+z}	ión αμετάλλου $A^{-\psi}$ εκτός του O
θετικό πολυατομικό ίόν, πχ NH_4^+	αρνητικό πολυατομικό ίόν

- είναι ιοντικές (ετεροπολικές) ενώσεις δηλαδή αποτελούνται από **ίόντα** που σχηματίζουν τον **ιοντικό κρύσταλλο**.
- Ο χημικός τύπος μιας ιοντικής ένωσης δεν συμβολίζει το μόριο της ένωσης, αλλά δείχνει την απλούστερη ακέραια αναλογία κατιόντων και ανιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα της ένωσης

5

Τα άλατα έξω από το νερό

- Τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις.
- Τα δομικά τους σωματίδια είναι ίόντα που σχηματίζουν στερεό ιοντικό κρύσταλλο
- Όταν το άλας είναι σε στερεά κατάσταση, τα ίόντα αυτά δεν έχουν ελευθερία κίνησης, είναι «παγιδευμένα» στον κρύσταλλο.



Οι εικόνες είναι από το σχολικό βιβλίο της Α' Λυκείου των Λιοδάκη κ.α.

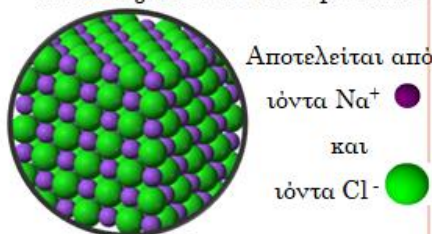
6



Χλωριούχο νάτριο (NaCl), ένα παράδειγμα άλατος

- είναι στερεός ιοντικός κρύσταλλος



Το παρακάτω σχήμα είναι μια αναπαράσταση που απεικονίζει τον ιοντικό κρύσταλλο



Αποτελείται από
ίόντα Na^+ 
και
ίόντα Cl^- 

Στις αναπαραστάσεις αυτές, τα σωματίδια είναι πυκνά όταν πρόκειται για στερεά σώματα.

- Κάθε ίόν έλκει τα γειτονικά του ίόντα αντιθέτου φορτίου

7

2^η φάση

Ξεκινάμε τη μελέτη των αλάτων

- Δείχνουμε τον γενικό τύπο των αλάτων και τα ίόντα από τα οποία αποτελείται (Στόχος 1)

- Τονίζουμε ότι τα δομικά τους σωματίδια είναι ίόντα που σχηματίζουν ιοντικό κρύσταλλο (Στόχος 2).

- Δείχνουμε αναπαραστάσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο ιοντικών κρυστάλλων (Στόχος 2). Μπορούμε να επιλέξουμε και άλλους κρυστάλλους διαφορετικής γεωμετρίας

* Η εικόνα με την αλατιέρα είναι από : [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison of Table Salt with Kitchen S alt.png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_of_Table_Salt_with_Kitchen_Salt.png)

Τα άλατα μέσα στο νερό

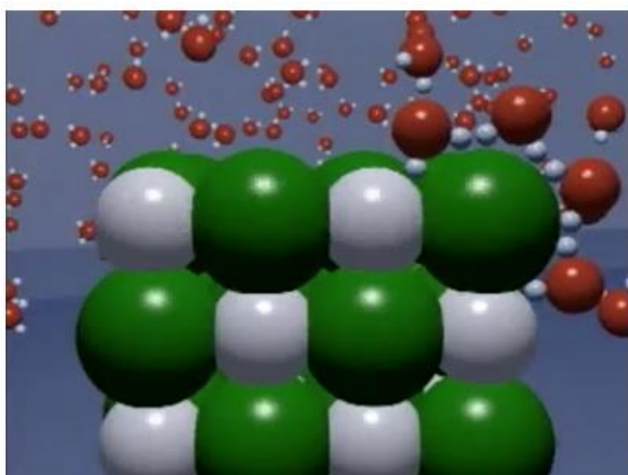
Όταν όμως μια ποσότητα ενός ευδιάλυτου άλατος μπαίνει μέσα στο νερό,

τότε **τα ιόντα που την αποτελούν,**
λόγω της επίδρασης των μορίων του νερού,
εγκαταλείπουν τον κρυσταλλικό πλέγμα,
το οποίο παύει να υπάρχει,
(γι' αυτό και δεν βλέπουμε πια το αλάτι),

και «κολυμπούν» μέσα στη μάζα του νερού

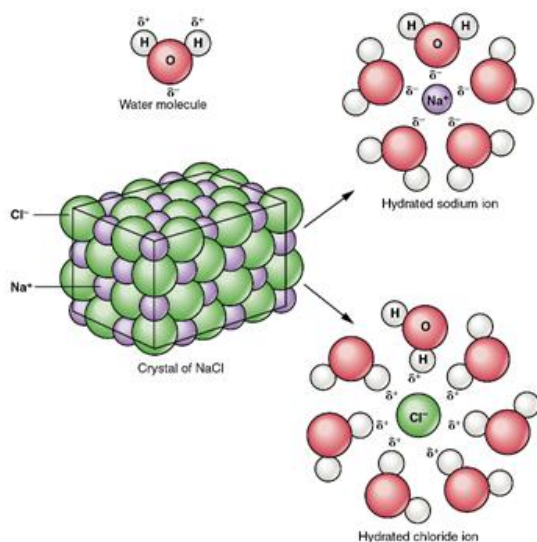
Το φαινόμενο αυτό λέγεται **ηλεκτρολυτική διάσταση**

8



Βίντεο: **Διάσταση ενός άλατος** (Dissociation of a salt)⁹
https://www.youtube.com/watch?v=CYjHuCyCL3s&ab_channel=UMChem125

9



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:214_Dissociation_of_Sodium_Chloride_in_Water-01.jpg#

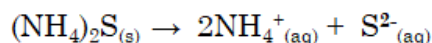
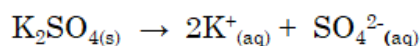
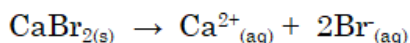
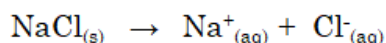
10

- Σχολιάζουμε εν συντομία τον μηχανισμό διάστασης των αλάτων στα υδατικά τους διαλύματα και προβάλλουμε το βίντεο «Dissociation of a salt» από την ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.youtube.com/watch?v=CYjHuCyCL3s&ab_channel=UMChem125 όπου εξηγείται ο μηχανισμός διάστασης των αλάτων στα υδατικά τους διαλύματα. Τονίζουμε ότι κατά τη διάλυση του ιοντικού κρυστάλλου, έχουμε απελευθέρωση των ήδη υπαρχόντων ιόντων (Στόχος 3). Σημειώνουμε πως ό,τι βλέπουμε στο βίντεο αυτό, το ίδιο συμβαίνει και με όλες τις ευδιάλυτες ιοντικές ενώσεις ή ακόμα και με το ποσοστό των δυσδιάλυτων ιοντικών ενώσεων, που όμως διαλύεται στο νερό.

- Δείχνουμε την διπλανή εικόνα σχολιάζοντας ότι τα ιόντα κινούνται συνοδευόμενα από αριθμό μορίων νερού (ενυδάτωση ιόντων). Δεν επεκτεινόμαστε στο θέμα αυτό γιατί θα μας απασχολήσει στη Γ' Λυκείου. (Στόχος 3). Εξηγούμε ότι για λόγους ευκρίνειας των εικόνων, συχνά παραλείπεται η ενυδάτωση των ιόντων.

Η χημική εξίσωση της ηλεκτρολυτικής διάστασης

Όλα τα παρακάτω άλατα είναι ευδιάλυτα στο νερό



Υπενθύμιση

aq για τα σώματα που είναι διαλυμένα στο νερό

s → για τα στερεά

l → για τα υγρά

g → για τα αέρια

11

- Εξηγούμε τη χημική εξίσωση της ηλεκτρολυτικής διάστασης των αλάτων (Στόχος 4).

2) Οι βάσεις

- Είναι τα υδροξειδία των μετάλλων: $\text{M}(\text{OH})_x$ όπου M^{+x} είναι ιόν μετάλλου και OH^- το ιόν υδροξειδίου.
- και η αμμωνία NH_3
- είναι ιοντικές (ετεροπολικές) ενώσεις δηλαδή αποτελούνται από **ιόντα** που σχηματίζουν τον **ιοντικό κρύσταλλο**. Εξαιρέση η αμμωνία (NH_3) που είναι αέρια μοριακή ένωση



12

3^η φάση

Ξεκινάμε τη μελέτη των βάσεων.

- Δείχνουμε τον γενικό τύπο των υδροξειδίων των μετάλλων και σχολιάζουμε ότι και η αμμωνία είναι βάση (Στόχος 1)
- Τονίζουμε ότι τα δομικά τους σωματίδια είναι ιόντα που σχηματίζουν ιοντικό κρύσταλλο. Εξαιρέση είναι η αμμωνία που είναι μοριακή ένωση (Στόχος 2).
- Δείχνουμε αναπαραστάσεις σε μακρο και υπομικρο επίπεδο, ιοντικών κρυστάλλων (Στόχος 2).

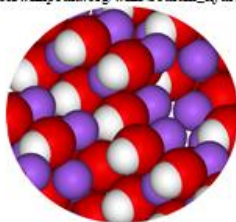
Οι βάσεις έξω από το νερό

Τα υδροξειδία των μετάλλων, πχ το NaOH

- ▶ είναι στερεός ιοντικός κρύσταλλος



Το παρακάτω σχήμα είναι μια αναπαράσταση που απεικονίζει τον ιοντικό κρύσταλλο
https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_hydroxide



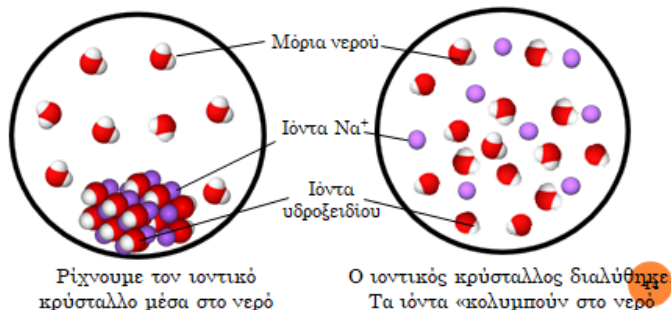
Αποτελείται από ιόντα Na^+ και ιόντα OH^-

13

* Η εικόνα δεξιά είναι από:
https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_hydroxide

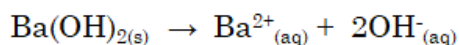
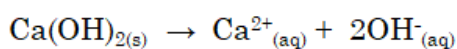
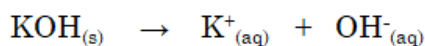
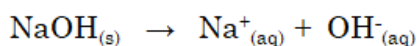
Οι βάσεις μέσα στο νερό

Στα **υδροξειδία των μετάλλων** που είναι ευδιάλυτα στο νερό, πχ το NaOH, τα ιόντα εγκαταλείπουν τον ιοντικό κρύσταλλο (ο οποίος διαλύεται) και «κολυμπούν» μέσα στο νερό, όπως ακριβώς συνέβη και στην περίπτωση των ευδιάλυτων αλάτων. Υφίστανται και αυτά ηλεκτρολυτική διάσπαση.



- Εξηγούμε το μηχανισμό διάσπασης των υδροξειδίων των μετάλλων στα υδατικά τους διαλύματα. Τονίζουμε ότι κατά τη διάλυση του ιοντικού κρυστάλλου, έχουμε απελευθέρωση των ήδη υπαρχόντων ιόντων. Υπενθυμίζουμε ότι η διάσπαση εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο που είδαμε στο βίντεο για τα άλατα (Στόχος 3).

Η χημική εξίσωση της ηλεκτρολυτικής διάσπασης



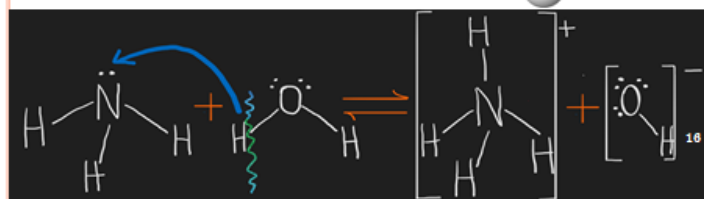
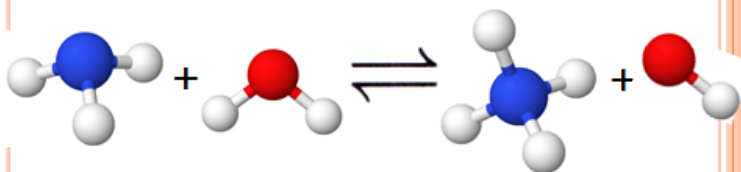
Όλα τα παραπάνω υδροξειδία είναι ευδιάλυτα στο νερό

15

- Εξηγούμε τη χημική εξίσωση της ηλεκτρολυτικής διάσπασης των υδροξειδίων των μετάλλων (Στόχος 4).

Η περίπτωση της αμμωνίας

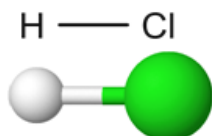
Η αμμωνία όταν διαλύεται στο νερό, **ιοντίζεται** μερικώς. Μια ποσότητα μετατρέπεται σε ιόντα. Η υπόλοιπη παραμένει σε μοριακή μορφή:



- Δείχνουμε τον ιοντισμό της αμμωνίας με συμβολικές αναπαραστάσεις (χημική εξίσωση με μοριακούς τύπους και άλλη με συντακτικούς) και με αναπαραστάσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο (Στόχος 5)

3) Τα οξέα.

- έχουν γενικό τύπο: H_xA
όπου A: αμέταλλο ή οξυγονούχα ομάδα ατόμων
πχ HCl υδροχλώριο , H_2SO_4 θειικό οξύ
- είναι ομοιοπολικές (μοριακές) ενώσεις δηλαδή αποτελούνται από **μόρια**.
- Παράδειγμα: το μόριο του HCl



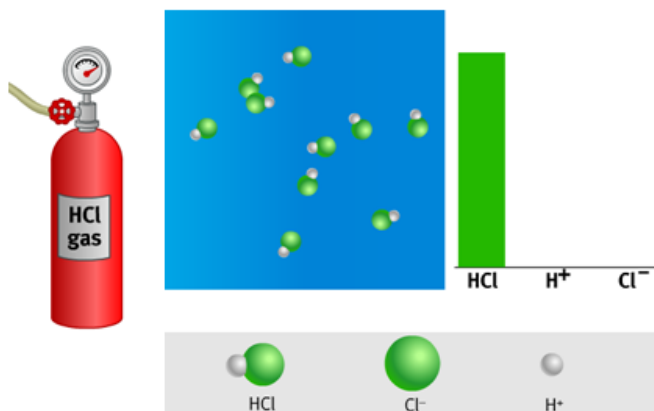
17

4^η φάση

Ξεκινάμε τη μελέτη των οξέων

- Δείχνουμε τον γενικό τύπο των (Στόχος 1).
- Τονίζουμε ότι τα δομικά τους σωματίδια είναι μόρια που αποτελούνται από άτομα (Στόχος 2).

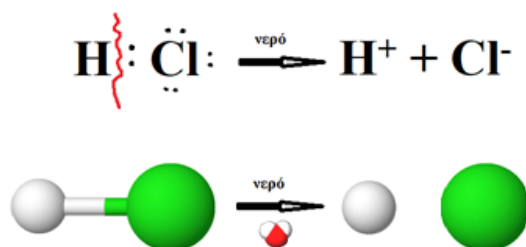
Τα οξέα έξω από το νερό



18

- Φέρνουμε σαν παράδειγμα το υδροχλώριο που είναι αέριο και δείχνουμε ότι δεν υπάρχουν ιόντα αλλά άτομα υδρογόνου και χλωρίου που ενώνονται και σχηματίζουν μόρια (Στόχος 2).

Όταν όμως τα οξέα διαλύονται στο νερό **ιοντίζονται**, δηλαδή από μόρια που είναι μετατρέπονται σε **ιόντα**.

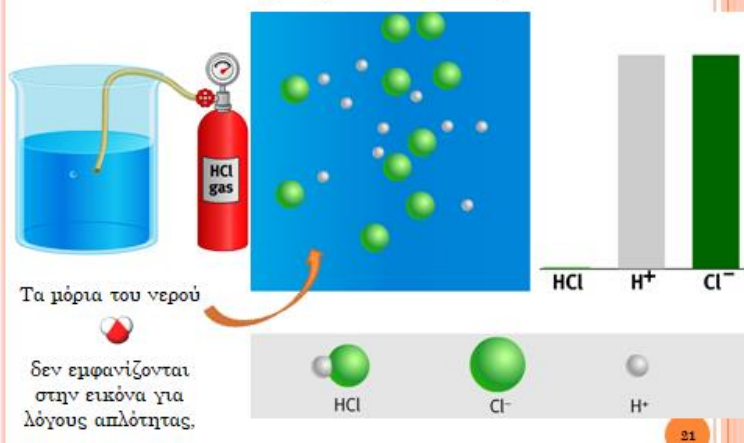


Ο ιοντισμός είτε είναι πλήρης (ισχυρά οξέα), είτε είναι μερικός (ασθενή οξέα).

20

- Περιγράφουμε τον ιοντισμό του οξέος στο υδατικό του διάλυμα με απλοϊκό τρόπο, χωρίς να αναφερθούμε στην αντίδραση του οξέος με το νερό (χωρίς προσέγγιση κατά Bronsted-Lowry) (Στόχος 5).
- Δείχνουμε τη χημική εξίσωση του ιοντισμού για ένα ισχυρό οξύ (Στόχος 6). Χωρίς να επεκταθούμε, σημειώνουμε ότι ο ιοντισμός μπορεί να είναι πλήρης ή μερικός.

Τα οξέα μέσα στο νερό

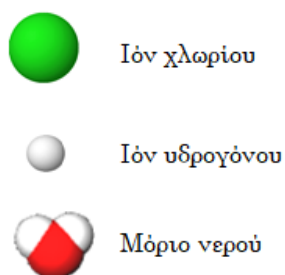
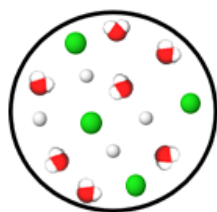


- Χρησιμοποιούμε πολλαπλές αναπαραστάσεις για να απεικονίσουμε τη σωματιδιακή φύση του ισχυρού οξέος στο υδατικό του διάλυμα (Στόχος 5).

Συμπέρασμα :

τα οξέα μέσα στο νερό είναι με μορφή ιόντων.

Το παρακάτω σχήμα

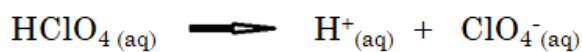


είναι μια αναπαράσταση που απεικονίζει **υδατικό διάλυμα HCl**. Δείχνει τη μορφή των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται το διάλυμα.

Το HCl είναι ισχυρό οξύ, στο διάλυμα του **δεν υπάρχουν μόρια HCl** αφού έχει ιοντιστεί πλήρως.

- Τονίζουμε ότι τελικά και τα οξέα στα υδατικά τους διαλύματα είναι με μορφή ιόντων, πλήρως ή μερικώς (Στόχος 5).

Η χημική εξίσωση του ιοντισμού



- Δείχνουμε τη χημική εξίσωση του ιοντισμού ισχυρών οξέων (Στόχος 6), με απλοϊκό τρόπο.

Συνοψίζοντας

- και τα **οξέα**
- και οι **βάσεις**
- και τα **άλατα**

μέσα στο νερό, βρίσκονται πλήρως ή μερικώς με την **μορφή ιόντων**.

Τα ιόντα αυτά, είτε προϋπήρχαν στον ιοντικό κρύσταλλο και με την διάλυσή του στο νερό, κινούνται πλέον ελεύθερα (περίπτωση των αλάτων και των υδροξειδίων των μετάλλων)

είτε δημιουργήθηκαν όταν τα **μόρια μετατράπηκαν σε ιόντα** με την αντίδραση ιοντισμού. (περίπτωση των οξέων και της αμμωνίας)

24

5^η φάση

Ανακεφαλαίωση όσων ειπώθηκαν μέχρι τώρα.

Γι' αυτό

- και τα **οξέα**
- και οι **βάσεις**
- και τα **άλατα**

είναι ηλεκτρολύτες



Από το σχολικό βιβλίο της Α' Λυκείου των Λιτοδάκη κ.α. με κάποιες προσθήκες

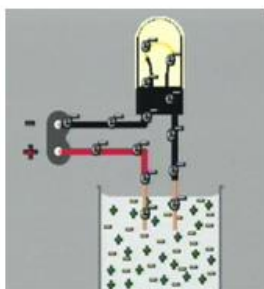
25

6^η φάση Ηλεκτρολύτες

- Χρησιμοποιώντας την εικόνα του σχολικού βιβλίου με κάποιες προσθήκες, εξηγούμε τι σημαίνει η έκφραση «Τα υδατικά διαλύματα των ηλεκτρολυτών άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα» και τονίζουμε ότι, προϋπόθεση για να κλείσει το κύκλωμα είναι η ύπαρξη ιόντων στο υδατικό διάλυμα (Στόχος 7).

Animation:
Αγωγιμότητα
ισχυρού
ηλεκτρολύτη

<https://www.chemedx.org/video/electrical-conductivity-strong-electrolyte-animation>



Βίντεο: Αγωγιμότητα
διαλυμάτων H₂SO₄,
Ba(OH)₂ και
απεσταγμένου H₂O

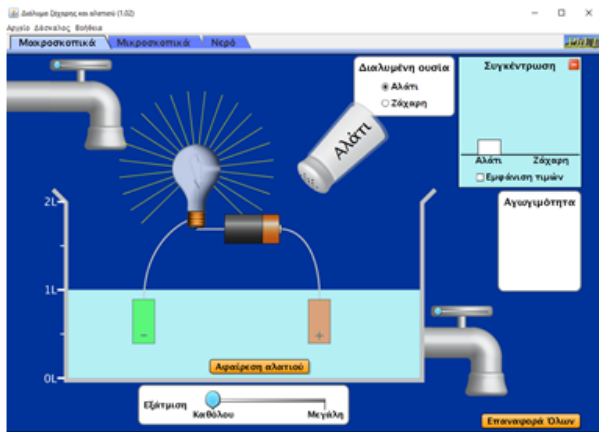
<https://www.chemedx.org/video/conductimetric-titration-introduction>



26

- Προβάλουμε το animation με τίτλο “Electrical conductivity of a strong electrolyte” (<https://www.chemedx.org/video/electrical-conductivity-strong-electrolyte-animation>) που δείχνει σε κίνηση πώς λειτουργεί το κύκλωμα (Στόχος 7).

- Προβάλουμε το βίντεο «Conductimetric Titration – Introduction» (<https://www.chemedx.org/video/conductimetric-titration-introduction>) όπου συγκρίνεται η αγωγιμότητα



Προσομοίωση PhET: Αγωγιμότητα σε διάλυμα ζάχαρης και αλατιού

<https://phet.colorado.edu/el/simulations/sugar-and-salt-solutions>

27

διαλυμάτων ενός οξέος, μιας βάσης και νερού (Στόχος 7).

- Χρησιμοποιούμε από τις γνωστές προσομοιώσεις PhET, αυτή με τίτλο «Αγωγιμότητα σε διάλυμα ζάχαρης και αλατιού» (<https://phet.colorado.edu/el/simulations/sugar-and-salt-solutions>) για να αναδείξουμε τη διαφορά ανάμεσα σε έναν ηλεκτρολύτη και σε έναν μη ηλεκτρολύτη (Στόχος 7).

Ασκήσεις 1ου μαθήματος: Τα οξέα, οι βάσεις, τα άλατα και τα υδατικά τους διαλύματα.

Τις απαντήσεις σας τις στέλνετε στο eclass είτε σαν φωτογραφία αφού τις γράψετε με το χέρι, είτε συμπληρώνοντας ηλεκτρονικά αυτό το αρχείο αφού το κατεβάσετε στον υπολογιστή σας.

A. Να συμπληρώσετε τις αντιδράσεις διάστασης ή ιοντισμού των παρακάτω ενώσεων οι οποίες είναι όλες ευδιάλυτες στο νερό. Μετά από κάθε αντίδραση να γράψετε αν είναι ιοντισμός ή διάσταση.

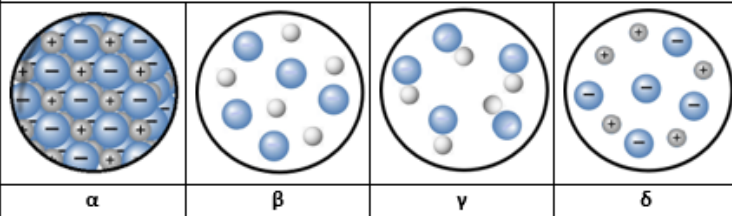
- KCl (s) →
- HBr (aq) →
- HNO₃ (aq) →
- Ba(OH)₂ (aq) →
- CaCl₂ (s) →
- Na₂CO₃ (s) →
- Al₂(SO₄)₃ (s) →

B. Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

- Όταν το NaCl έχει διαλυθεί στο νερό, τότε μέσα σε αυτό βρίσκεται με τη μορφή
 - μορίων NaCl που έχουν αναμειχθεί με τα μόρια του νερού.
 - ατόμων Na και ατόμων Cl που έχουν αναμειχθεί με τα μόρια του νερού.
 - ιόντων Na⁺ και Cl⁻ που απομακρύνθηκαν από τον ιοντικό κρύσταλλο όταν το αλάτι διαλύθηκε στο νερό
 - ιόντων Na⁺ και Cl⁻ που δημιουργήθηκαν από τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τα άτομα Na στα άτομα χλωρίου όταν τα μόρια του αλατιού διαλύθηκαν στο νερό.

2. Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει πλησιέστερα τον συμβολισμό HBr(g);

Δίνονται οι συμβολισμοί: άτομο βρωμίου, ιόν βρωμίου
 άτομο υδρογόνου, ιόν υδρογόνου



7^η φάση

Απόσπασμα από την εργασία που ανατέθηκε μέσω eclass.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας



3.5.3 2^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης

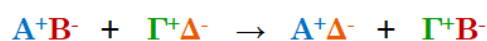
Στόχοι: Στο τέλος της διδακτικής ώρας, θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν

1. Να αναγνωρίζουν μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης από τα αντιδρώντα της.
2. Να αντιλαμβάνονται αν είναι πραγματοποιήσιμη ή όχι.
3. Να την συμπληρώνουν ποιοτικά και ποσοτικά.

Πίνακας 13: Σχέδιο μαθήματος 2^{ης} διδακτικής ώρας

Αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης

Ονομάζονται οι αντιδράσεις μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών (οξέων, βάσεων και αλάτων) μέσα σε υδατικά διαλύματα, κατά τις οποίες οι ηλεκτρολύτες ανταλλάσσουν ιόντα, σύμφωνα με το σχήμα:



1

Αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης

Κάθε ανόργανη χημική ένωση αποτελείται από ένα τμήμα με θετικό αριθμό οξείδωσης και ένα άλλο με αρνητικό.



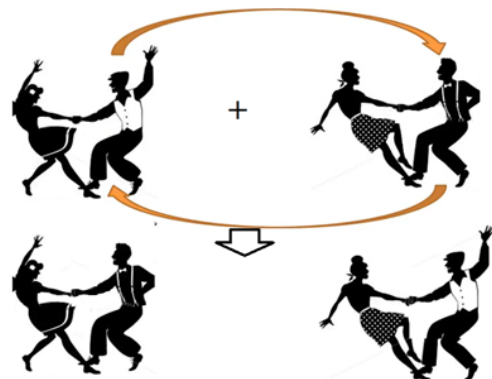
2

Αν φανταστούμε τις χημικές ενώσεις σαν χορευτικά ζευγάρια τότε αυτό που συμβαίνει σε μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης, ανάμεσα σε 2 ενώσεις

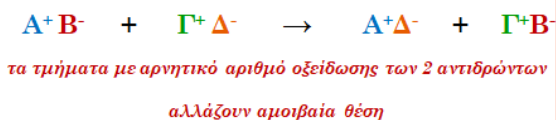


5

... είναι ότι αλλάζουν παρτενέρ μεταξύ τους



6



8

Πότε πραγματοποιείται μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης ;

Πρέπει ένα τουλάχιστον από τα προϊόντα της αντίδρασης:

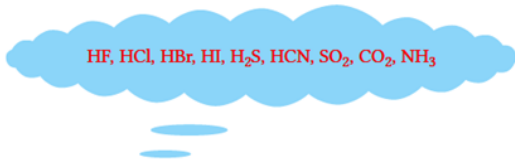
- Να πέφτει ως **ιζημα** (↓ ή s) δηλαδή να είναι ουσία δυσδιάλυτη στο νερό, ή
- Να απομακρύνεται από το διάλυμα ως **αέριο** * (↑ ή g), ή
- Να είναι μια **ελάχιστη ιοντιζόμενη ένωση** δηλαδή ένας πολύ ασθενής ηλεκτρολύτης όπως είναι το νερό στις αντιδράσεις εξουδετέρωσης

* Αν το αέριο είναι ευδιάλυτο στο νερό απαιτείται θέρμανση ώστε να απομακρυνθεί από το διάλυμα.

6

Το ποια σώματα είναι ιζήματα ή αέρια είναι κάτι που θα σας δίνεται. Στον πίνακα 3.1 του σχολικού βιβλίου περιέχονται σχετικές πληροφορίες. Εδώ παρατίθενται λίγο εκτενέστεροι πίνακες:

Κυριότερα αέρια:



Τα CO₂ και H₂S έχουν μικρή διαλυτότητα στο νερό και έτσι απομακρύνονται εύκολα από το διάλυμα. Για τα υπόλοιπα απαιτείται θέρμανση ώστε να διευκολυνθεί η αντίδραση.

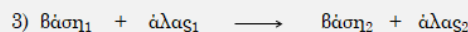
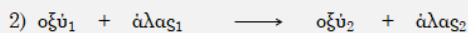
7

	ΙΖΗΜΑΤΑ	ΕΥΔΙΑΛΥΤΑ
ΑΛΑΤΑ		
Ανθρακικά (CO ₃ ²⁻)	όλα εκτός	με Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Φωσφορικά (PO ₄ ³⁻)	όλα εκτός	με Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Φθοριούχα (F ⁻)	όλα εκτός	με Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Θειούχα (S ²⁻)	όλα εκτός	με Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Ba ²⁺
Αλογονούχα (X ⁻) όπου X : Cl, Br, I	AgX, PbX ₂ , CuX	όλα τα άλλα
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	CaSO ₄ , BaSO ₄ , PbSO ₄	όλα τα άλλα
ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	όλα εκτός	NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ , Ba(OH) ₂
ΟΞΕΑ	—	όλα

Ευδιάλυτα είναι τα άλατα που έχουν σαν κατιόν: Na⁺, K⁺, NH₄⁺ ή σαν ανιόν: NO₃⁻ (νιτρικό), ClO₃⁻ (χλωρικό), HCO₃⁻ (όξινο ανθρακικό) και HSO₃⁻ (όξινοθειώδες)

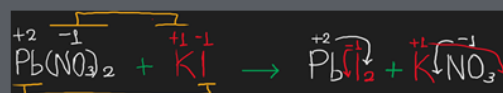
6

Τα είδη των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης:

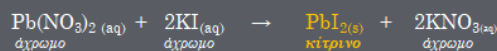


9

Στο Whiteboard :



Κατόπιν ισοσταθμίζουμε και καταλήγουμε στην

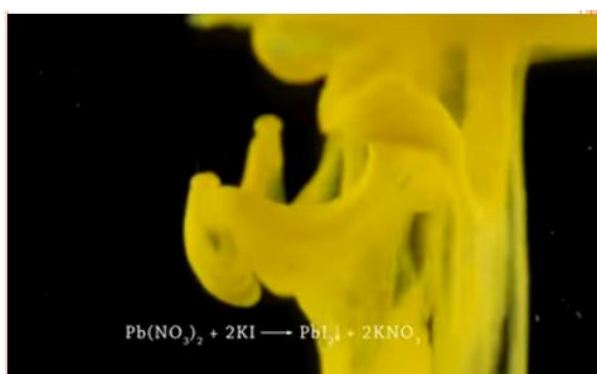


Παρόμοια:



Ακολουθεί βίντεο που περιλαμβάνει αυτές τις 2 αντιδράσεις

10

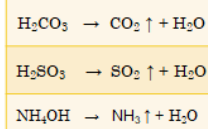


Από τον ιστότοπο Beauty of Science, βίντεο με τον σχηματισμό 6 διαφορετικών ιζημάτων από αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Λήψη με φακό macro. https://www.youtube.com/watch?v=uxCgxBr6mQY&ab_channel=BeautyofScience

11

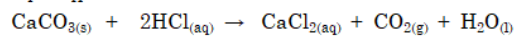
Ειδικές περιπτώσεις:

- Το **ανθρακικό οξύ (H₂CO₃)** είναι ασταθής ένωση και όταν σχηματίζεται διασπάται σε αέριο **CO₂** και **H₂O**.
- Το **θειώδες οξύ (H₂SO₃)** είναι ασταθής ένωση και διασπάται σε αέριο **SO₂** + **H₂O**.
- Η ένωση **NH₄OH** δεν υπάρχει και στη θέση της ως προϊόν γράφουμε την αέρια **NH₃** + **H₂O**.



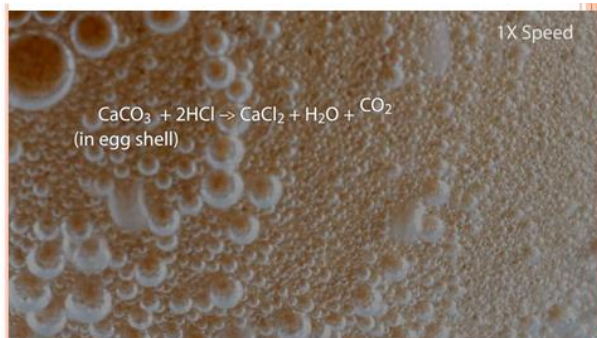
Μάλιστα, καθώς το **CO₂**, το **SO₂** και η **NH₃** είναι αέρια σώματα, οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης που συμπεριλαμβάνουν τα προϊόντα αυτά είναι πραγματοποιήσιμες.

Παράδειγμα στο Whiteboard :



Ακολουθεί βίντεο όπου το **CaCO₃** είναι το κέλυφος αυγού

12



Από τον ιστότοπο Beauty of Science και την Chinese Chemical Society βίντεο με την παραγωγή φυσσαλίδων CO₂ από την επίδραση υδροχλωρικού οξέος πάνω σε κέλυφος αυγού (CaCO₃). Λήψη με τη βοήθεια μικροσκοπίου. https://www.youtube.com/watch?v=e5Ymo_dZqtM&ab_channel=BeautyofScience

13

✓ **Polling στο Webex με μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης.**

Άσκηση πάνω σε αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης

Να συμπληρώσετε τις χημικές εξισώσεις δόν από τις παρακάτω αντιδράσεις πραγματοποιούνται. Να σημειώσετε το αέριο [με ↑ ή (g)] ή το ίζημα [με ↓ ή (s)] που σχηματίζεται σε όσες αντιδράσεις πραγματοποιούνται.

1. $CaCl_2 + AgNO_3 \rightarrow \dots + \dots$
2. $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow \dots + \dots$
3. $FeCl_3 + K_2S \rightarrow \dots + \dots$
4. $NH_4Cl + K_3PO_4 \rightarrow \dots + \dots$
5. $H_2SO_4 + NaCl \rightarrow \dots + \dots$
6. $Ba(NO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow \dots + \dots$
7. $HCl + BaCO_3 \rightarrow \dots + \dots$
8. $H_3PO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow \dots + \dots$
9. $HBr + Na_2SO_3 \rightarrow \dots + \dots$
10. $NH_4NO_3 + Ba(OH)_2 \rightarrow \dots + \dots$
11. $(NH_4)_2PO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow \dots + \dots$
12. $\dots + \dots \rightarrow BaSO_4 \downarrow + NaNO_3$
13. $\dots + \dots \rightarrow CaCl_2 + CO_2 \uparrow + H_2O$
14. $Pb(NO_3)_2 + \dots \rightarrow PbI_2 \downarrow + \dots$

✓ **Ανάθεση εργασίας με συμπλήρωση αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης**

Στο μάθημα αυτό ακολουθείται η παραδοσιακή προσέγγιση με μοριακές εξισώσεις που θα μας βοηθήσει σε επόμενο μάθημα να περάσουμε στις ιοντικές εξισώσεις. Η πορεία του μαθήματος ακολουθεί το περιεχόμενο του παραπάνω αρχείου παρουσίασης (πίνακας 13). Το μάθημα διεξήχθη με τη μέθοδο της σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας.

1^η Φάση Σχολιάζουμε τα σημαντικότερα λάθη που συναντήσαμε στις απαντήσεις των ασκήσεων που έστειλαν στο eclass οι μαθητές και που τους είχαν ανατεθεί στο προηγούμενο μάθημα. Αναφερόμαστε επιγραμματικά στο θέμα του μαθήματος και τους στόχους του.

2^η Φάση (Διαφάνειες 1 έως 5 του ppt που χρησιμοποιούμε στο μάθημα). Ορίζουμε την αντίδραση διπλής αντικατάστασης.

3^η Φάση (Διαφάνειες 6 έως 8). Συζητάμε τις προϋποθέσεις ώστε μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης να είναι πραγματοποιήσιμη και δίνουμε στους μαθητές πίνακες με περισσότερες πληροφορίες από αυτές του σχολικού βιβλίου σχετικά με το ποιες ενώσεις είναι ευδιάλυτες και ποιες δυσδιάλυτες.

4^η Φάση (Διαφάνειες 9 έως 10). Αναφέρουμε τις διαφορετικές περιπτώσεις αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και μέσω γραφίδας δείχνουμε στο whiteboard τον τρόπο με τον οποίο βρίσκουμε τα προϊόντα μέσω της «ανταλλαγής των παρτενέρ». Τονίζουμε ότι πριν ξεκινήσουμε να βάζουμε συντελεστές, πρέπει να διαπιστώσουμε αν η αντίδραση πραγματοποιείται ή όχι.

5^η Φάση (Διαφάνεια 11). Από την ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.youtube.com/watch?v=uxCgxBr6mQY&ab_channel=BeautyofScience , τον ιστότοπο Beauty of Science και την Chinese Chemical Society, προβάλουμε βίντεο με τον σχηματισμό 6 διαφορετικών ιζημάτων από 6 αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης. Σχολιάζουμε την ομορφιά της Χημείας.

6^η Φάση (Διαφάνειες 12 και 13). Αναφερόμαστε στις ειδικές περιπτώσεις παραγωγής των αερίων CO₂, SO₂ και NH₃. Στο Whiteboard δείχνουμε σε πραγματικό χρόνο, το πώς εργαζόμαστε σε μια τέτοια περίπτωση. Προβάλουμε από την ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.youtube.com/watch?v=e5Ymo_dZqtM&ab_channel=BeautyofScience, τον ιστότοπο Beauty of Science και την Chinese Chemical Society, βίντεο με τον επίδραση υδροχλωρικού οξέος στο κέλυφος αυγού (CaCO₃).

7^η Φάση (Διαφάνεια 14). Μέσω ενός polling στην πλατφόρμα Webex, οι μαθητές συμπληρώνουν σε πραγματικό χρόνο μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης. Στη συνέχεια δίνουμε τη σωστή απάντηση. Τέλος αναθέτουμε μια εργασία με συμπλήρωση αντιδράσεων, την οποία οι μαθητές θα στείλουν μέσω του eclass.

3.5.4 3^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Εξουδετέρωση

Στόχοι: Στο τέλος της διδακτικής ώρας, θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν

1. Να αναγνωρίζουν μια αντίδραση εξουδετέρωσης από τα αντιδρώντα της.
2. Να συμπληρώνουν ποιοτικά και ποσοτικά μια αντίδραση εξουδετέρωσης.

Πίνακας 14: Σχέδιο μαθήματος της 3ης διδακτικής ώρας

<p>ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ ονομάζεται η αντίδραση μεταξύ ενός οξέος και μιας βάσης, κατά την οποία τα κατιόντα H⁺ του οξέος αντιδρούν με τα ανιόντα OH⁻ της βάσης παράγοντας μόρια H₂O</p> $\text{H}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}$	<p>Παράλληλα, το ανιόν του οξέος και το κατιόν της βάσης σχηματίζουν άλας.</p> <p>Έτσι η γενική μορφή της αντίδρασης εξουδετέρωσης είναι:</p> $\text{οξύ} + \text{βάση} \rightarrow \text{άλας} + \text{νερό}$ <p>Παράδειγμα: $\text{HCl}_{(aq)} + \text{NaOH}_{(aq)} \rightarrow \text{NaCl}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$</p>
<p>Λέγεται εξουδετέρωση γιατί αν αναμειξουμε τις κατάλληλες ποσότητες οξέος και βάσης εξουδετερώνονται τόσο οι ιδιότητες του οξέος (που οφείλονται στα H⁺) όσο και οι ιδιότητες της βάσης (που οφείλονται στα OH⁻)</p>	<p>Βίντεο με εξουδετέρωση διαλύματος NH₃ από διάλυμα HCl παρουσία φαινολοφθαλείνης.</p>  <p>https://www.youtube.com/@CHEMISTRY-LAB/videos</p>
<p>Η εξουδετέρωση, μπορεί να εξετάζεται ξεχωριστά, στην πραγματικότητα όμως είναι μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης.</p> $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{HOH}$ <p>η οποία θα πραγματοποιείται πάντα αφού παράγεται νερό, μια ελάχιστα ιοντιζόμενη ένωση. Άρα ικανοποιείται η προϋπόθεση για την πραγματοποίηση μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης.</p>	<p><i>Παράδειγματα στο whiteboard</i></p> $\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)} + 2\text{KOH}_{(aq)} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_{4(aq)} + 2\text{HOH}_{(l)}$ $2\text{H}_3\text{PO}_{4(aq)} + 3\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)} \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(s)} + 6\text{HOH}_{(l)}$

<p>Η ειδική περίπτωση της αμμωνίας (NH₃)</p> <p><i>Να θυμίσουμε ότι η NH₃, μπορεί να μην υπακούει στον γενικό τύπο M(OH)_x, εν τούτοις είναι βάση, αφού μέσα στο νερό δίνει ανιόντα OH⁻</i></p> $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ <p>Όταν η NH₃ αντιδρά με οξέα, δεν παράγεται νερό παρά μόνο αμμωνιακό άλας</p> $2\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(\text{aq})$	<p>Polling στο Webex με αντιδράσεις εξουδετέρωσης</p>
<p>Ασκήσεις πάνω στην εξουδετέρωση</p> <p>Άσκηση 1: Να συμπληρώσετε τις χημικές εξισώσεις των επόμενων αντιδράσεων εξουδετέρωσης:</p> <ol style="list-style-type: none"> HI + KOH → HNO₃ + Ca(OH)₂ → H₃PO₄ + NaOH → H₂CO₃ + Mg(OH)₂ → H₃PO₄ + Ba(OH)₂ → HBr + NH₃ → <p>Άσκηση 2: Να γράψετε με χημικούς τύπους και να τις συμπληρώσετε τις εξισώσεις των επόμενων αντιδράσεων εξουδετέρωσης:</p> <p>Θειικό οξύ + υδροξείδιο του αργιλίου →</p>	<p>φωσφορικό οξύ + υδροξείδιο του βαρίου →</p> <p>νιτρικό οξύ + αμμωνία →</p> <p>Άσκηση 3: Να συμπληρώσετε τις χημικές εξισώσεις των επόμενων αντιδράσεων εξουδετέρωσης. Διευκρίνιση: σε κάποιες δεν υπάρχει μόνο μια σωστή απάντηση.</p> <p>HCl + → CaCl₂ +</p> <p>..... + Ba(OH)₂ → Ba(NO₃)₂ +</p> <p>..... + → AlBr₃ + H₂O</p> <p>..... + → (NH₄)₂PO₄</p> <p>Άσκηση 4: Να συμπληρώσετε τα κενά με την κατάλληλη ή τις κατάλληλες λέξεις.</p> <p>Κατά την εξουδετέρωση, τα κατιόντα που προέρχονται από αντιδρούν με τα που προέρχονται από για να σχηματίσουν</p>

Η πορεία του μαθήματος ακολουθεί το περιεχόμενο του παραπάνω αρχείου παρουσίασης (πίνακας 14) που χρησιμοποιήθηκε σε μάθημα σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας κατά τη διάρκεια της έρευνας.

1^η Φάση Σχολιάζουμε τα σημαντικότερα λάθη που συναντήσαμε στις απαντήσεις των ασκήσεων που έστειλαν στο eclass οι μαθητές και που τους είχαν ανατεθεί στο προηγούμενο μάθημα. Αναφερόμαστε επιγραμματικά στο θέμα του μαθήματος και τους στόχους του.

2^η Φάση (Διαφάνειες 1 έως 4 του ppt που χρησιμοποιούμε στο μάθημα). Ορίζουμε την αντίδραση εξουδετέρωσης. Από την ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.youtube.com/@CHEMISTRY-LAB/videos> προβάλουμε βίντεο με εξουδετέρωση διαλύματος NH₃ από διάλυμα HCl παρουσία φαινολοφθαλεΐνης.

3^η Φάση (Διαφάνειες 5 και 6). Δείχνουμε στους μαθητές πως θα βρούμε τα προϊόντα σε μια αντίδραση εξουδετέρωσης. Τονίζουμε ότι η αντίδραση γίνεται πάντα αφού

παράγεται νερό που είναι μια ελάχιστα ιοντιζόμενη ένωση. Διευκρινίζουμε ότι κατά τη διεξαγωγή μιας χημικής αντίδρασης τα άτομα δεν καταστρέφονται, αλλά αναδιατάσσονται προς δημιουργία νέων ουσιών. Κατόπιν δείχνουμε πώς βάζουμε τους κατάλληλους συντελεστές ώστε τα άτομα κάθε στοιχείου να ισοσταθμίζονται στα δύο μέλη της χημικής εξίσωσης. Μέσω γραφίδας κάνουμε κάποια παραδείγματα αντιδράσεων στο whiteboard.

4^η Φάση (Διαφάνεια 7). Εξηγούμε ότι όταν έχουμε αμμωνία, δεν έχουμε νερό στα προϊόντα.

5^η Φάση (Διαφάνεια 8). Μέσω ενός rolling οι μαθητές συμπληρώνουν ποιοτικά και ποσοτικά δύο αντιδράσεις εξουδετέρωσης.

6^η Φάση (Διαφάνεια 9-10). Ανάθεση εργασίας μέσω eclass με ασκήσεις συμπλήρωσης αντιδράσεων εξουδετέρωσης.

3.5.5 4^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης με ιοντικές εξισώσεις.

Στόχοι: Στο τέλος της διδακτικής ώρας, θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν

1. Να αντικαθιστούν τους μοριακούς τύπους των ενώσεων μιας αντίδρασης σχηματισμού ιζήματος ή αερίου με τα αντίστοιχα ιόντα ή μόρια και να σχηματίζουν την ιοντική εξίσωση της.
2. Να καταλήγουν στην καθαρά ιοντική εξίσωση που αντικατοπτρίζει την πραγματική αντίδραση.
3. Να διακρίνουν τα ιόντα-παρατηρητές.
4. Να εξοικειώνονται με αναπαραστάσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο που περιγράφουν τις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.
5. Να γράφουν τις ιοντικές εξισώσεις στις ειδικές περιπτώσεις όπου έχουμε i)εξουδετέρωση και ταυτόχρονο σχηματισμό ιζήματος, ii)σχηματισμό δύο ιζημάτων, iii) σχηματισμό στα προϊόντα H_2CO_3 ή H_2SO_3 ή NH_4OH .

Στον πίνακα 15 παρουσιάζεται το σχέδιο του μαθήματος και τα βήματα που ακολουθεί ο διδάσκων.

Πίνακας 15: Σχέδιο μαθήματος 4ης διδακτικής ώρας

<p style="text-align: center;">4^ο Μάθημα</p> <p style="text-align: center;">Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης ή αλλιώς αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος ή αερίου με</p> <p style="text-align: center;">ΙΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ</p>	<p>1^η φάση</p> <ul style="list-style-type: none"> Ενημερώνουμε τους μαθητές για το θέμα του μαθήματος
<p style="text-align: center;">Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος ή αερίου</p> <p style="text-align: center;">από την μοριακή εξίσωση</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">στην ιοντική εξίσωση</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">και τέλος στην καθαρά ιοντική εξίσωση</p>	<ul style="list-style-type: none"> Εξηγούμε ότι σκοπός του μαθήματος είναι να μάθουμε να γράφουμε τα σώματα στη χημική εξίσωση μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης, με τη πραγματική τους σωματιδιακή κατάσταση.
<p>Έχουμε μάθει ότι</p> <ul style="list-style-type: none"> και τα οξέα και οι βάσεις και τα άλατα <p>μέσα στο νερό βρίσκονται, πλήρως ή μερικώς, με την μορφή ιόντων.</p> $\text{HCl}_{(aq)} \longrightarrow \text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$ $\text{Ca(OH)}_{2(s)} \longrightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$ $\text{NaCl}_{(s)} \longrightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$	<p>2^η φάση</p> <ul style="list-style-type: none"> Υπενθυμίζουμε στους μαθητές αυτά που συζητήσαμε στο 1ο μάθημα για την πραγματική σωματιδιακή φύση των οξέων, βάσεων και αλάτων στα υδατικά τους διαλύματα και προτείνουμε να τα εφαρμόσουμε στις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

As πάρουμε για παράδειγμα τον σχηματισμό του ιζήματος του $AgCl$

Η μοριακή εξίσωση:



Αν θέλουμε όμως να γράψουμε τις ενώσεις με την πραγματική μορφή που έχουν μέσα στο νερό, πρέπει

να αντικαταστήσουμε το $AgNO_{3(aq)}$ με $Ag^+_{(aq)} + NO_{3}^-_{(aq)}$

το $NaCl_{(aq)}$ με $Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

και το $NaNO_{3(aq)}$ με $Na^+_{(aq)} + NO_{3}^-_{(aq)}$

Το $AgCl$, αφού είναι ιζημα (αδιάλυτο στο νερό), θα το αφήσουμε ως έχει, βάζοντας δίπλα του \downarrow ή (s).

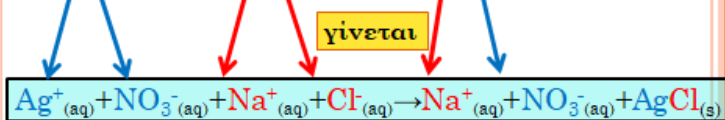
4

Ξεκινάμε με τις αντιδράσεις όπου σχηματίζεται ιζημα στα προϊόντα.

Δείχνουμε πώς καταλήγουμε στην ιοντική εξίσωση (Total ionic equation).

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

Ετσι, η μοριακή εξίσωση



που αποτελεί την **ιοντική εξίσωση** της αντίδρασης (Total ionic equation)

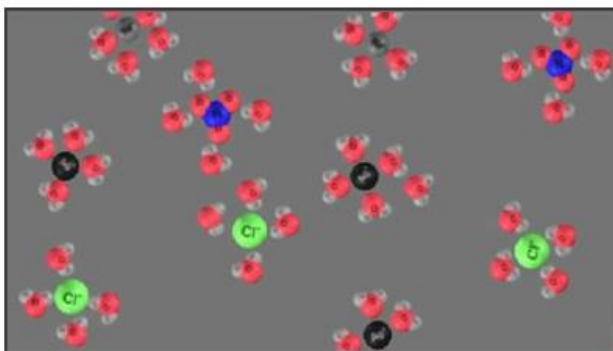
5

Από την ηλεκτρονική διεύθυνση⁶⁶

https://www.youtube.com/watch?v=e_v0xnTSFw4&ab_channel=ResaKelly προβάλλουμε

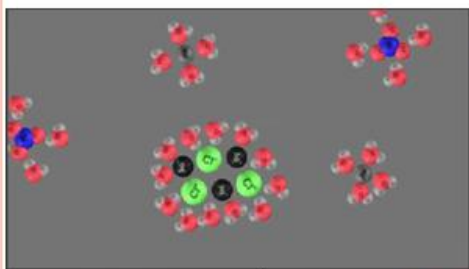
animation το οποίο περιγράφει την σωματιδιακή κατάσταση των αντιδρώντων στο διάλυμα, στη συνέχεια τον σχηματισμό του ιζήματος και την ύπαρξη των ιόντων-παρατηρητές. Είναι μία αναπαράσταση με κίνηση σε υπομικροσκοπικό επίπεδο που αποφεύγει τη δημιουργία παρανοήσεων (π.χ. την ύπαρξη

Η αντίδραση σε animation



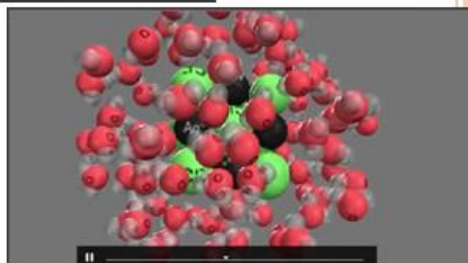
https://www.youtube.com/watch?v=e_v0xnTSFw4&ab_channel=ResaKelly

6



Μια «πιστή» περιγραφή των φάσεων της αντίδρασης

μέχρι τον σχηματισμό του ιζήματος



ζευγών ιόντων) σε αντίθεση με πολλές άλλες αναπαραστάσεις που κυκλοφορούν. Στην αναπαράσταση αυτή εμφανίζεται και η ενυδάτωση των ιόντων.

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

Τα σώματα όμως που συμμετέχουν σαν αντιδρώντα σε μια χημική αντίδραση, **μετατρέπονται σε διαφορετικά σώματα** που αποτελούν τα προϊόντα της αντίδρασης.

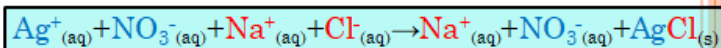
Αν κάποιο σώμα **παραμένει ίδιο**, πριν και μετά την αντίδραση, αυτό πιθανόν να σημαίνει ότι δεν έλαβε μέρος σε αυτήν και **δεν θα πρέπει να συμπεριληφθεί** στα αντιδρώντα και στα προϊόντα της.

8

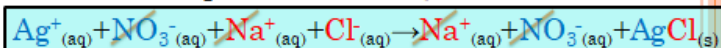
✚ Προετοιμάζουμε το πέρασμα στην καθαρά ιοντική εξίσωση.

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

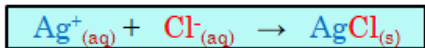
Με αυτή τη λογική, στην **ιοντική εξίσωση**



πρέπει να απαλειφθούν



οπότε καταλήγουμε στην



καθαρά ιοντική εξίσωση
(net ionic equation)

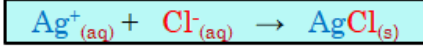
που αντικατοπτρίζει, με μεγαλύτερη ακρίβεια, την πραγματική αντίδραση.

9

✚ Περνάμε στην καθαρά ιοντική εξίσωση (net ionic equation)

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

Παρατηρούμε ότι τα 2 είδη ιόντων που αντέδρασαν είναι αυτά που σχημάτισαν το ιζήμα.



Τα ιόντα του Ag^+ και του Cl^- σχηματίζουν, καθώς προχωρά η αντίδραση, έναν ιοντικό κρύσταλλο που είναι αδιάλυτος στο νερό, λόγω των ισχυρών δυνάμεων μεταξύ των ιόντων του.

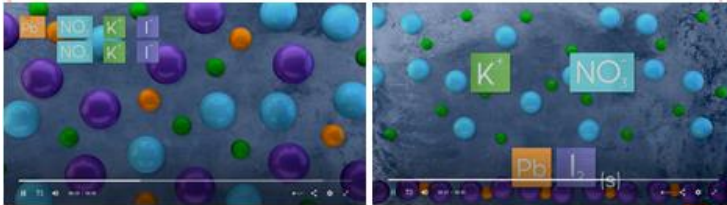
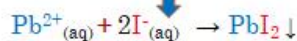
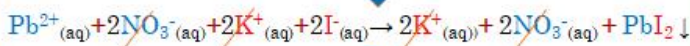
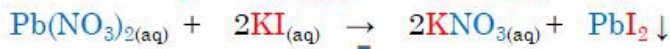
Τα άλλα 2 είδη ιόντων, τα ιόντα Na^+ και τα NO_3^- που δεν συμμετέχουν στην αντίδραση, ονομάζονται **ιόντα - παρατηρητές**

10

Επισημαίνουμε ότι ουσιαστικά τα 2 σώματα που αντέδρασαν είναι τα 2 ιόντα που σχημάτισαν τον ιοντικό κρύσταλλο, δηλαδή το ιζήμα.

Ορίζουμε τα ιόντα-παρατηρητές.

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος



Η ίδια αντίδραση σε animation

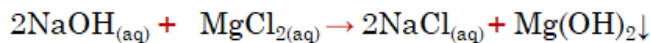
<https://www.learner.org/series/chemistry-challenges-and-solutions/when-chemicals-meet-water-the-properties-of-solutions/precipitation-animation/>

11

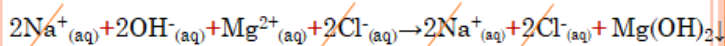
2^ο παράδειγμα αντίδρασης σχηματισμού ιζήματος, γράφοντας αρχικά τη μοριακή εξίσωση, στη συνέχεια την ιοντική και τέλος την καθαρά ιοντική. Προβάλουμε animation με την ίδια αντίδραση <https://www.learner.org/series/chemistry-challenges-and-solutions/when-chemicals-meet-water-the-properties-of-solutions/precipitation-animation/>

ι) Αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος

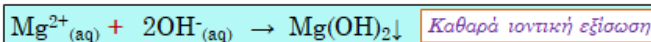
Άλλο παράδειγμα:



Μοριακή εξίσωση



Ιοντική εξίσωση



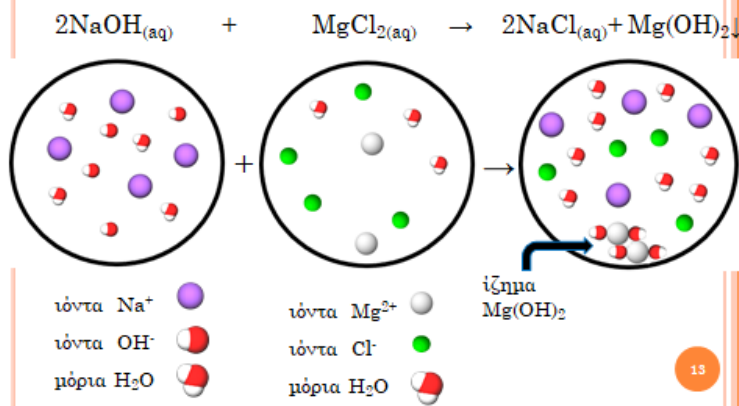
Καθαρά ιοντική εξίσωση

Τα ιόντα Na^+ και Cl^- είναι τα **ιόντα-παρατηρητές**

12

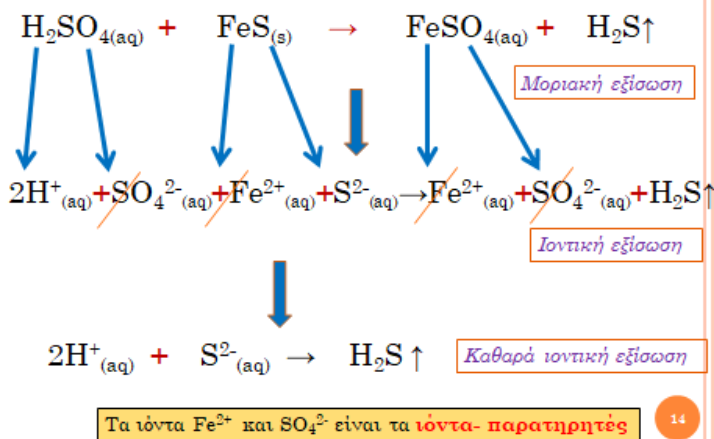
3^ο παράδειγμα αντίδρασης σχηματισμού ιζήματος. Εδώ έχουμε μια βάση που αντιδρά με ένα άλας.

Αναπαράσταση σε υπομικροσκοπικό επίπεδο



Μία αναπαράσταση σε υπομικροσκοπικό επίπεδο της προηγούμενης αντίδρασης.

ii) Αντιδράσεις σχηματισμού αερίου

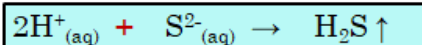


3^η φάση

Εξετάζουμε τις αντιδράσεις παραγωγής αερίου ακολουθώντας την ίδια διαδικασία

ii) Αντιδράσεις σχηματισμού αερίου

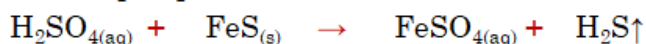
Παρατηρούμε ότι τα 2 ιόντα που αντέδρασαν είναι αυτά που σχημάτισαν το αέριο



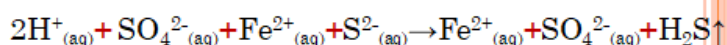
Τα δύο ιόντα του H^+ και το ένα ιόν του S^{2-} έλκονται μεταξύ τους και όταν πλησιάζονται σχηματίζουν μόριο H_2S που είναι αέριο με πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό και γι' αυτό εκφεύγει από το διάλυμα

Εξηγούμε ότι σε αυτή τη περίπτωση δεν σχηματίζεται ιοντικός κρύσταλλος αλλά τα ιόντα, μετατρεπόμενα σε άτομα, σχηματίζουν μόρια του αερίου.

Η αντίδραση:

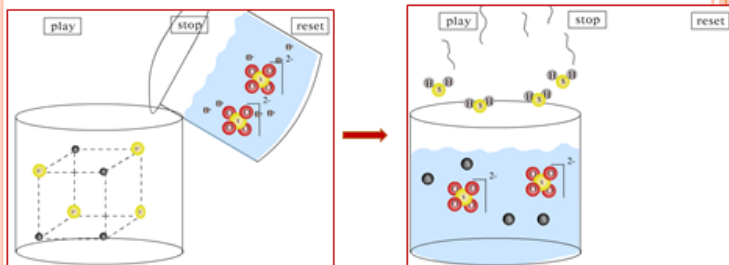


Μοριακή εξίσωση



Ιοντική εξίσωση

Η αντίδραση σε διαδραστικό animation



Η ίδια αντίδραση σε υπομικροσκοπική αναπαράσταση με κίνηση (animation).

Συμπέρασμα:

Στις αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης, (συμπεριλαμβανομένης της εξουδετέρωσης όπως θα δούμε σε επόμενο μάθημα),

η πραγματική αντίδραση γίνεται μεταξύ των δυο ιόντων που σχηματίζουν

- το ιζήμα ή
- το αέριο ή
- την ελάχιστη ιοντιζόμενη ένωση (το νερό)

17

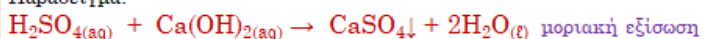
4^η φάση

Καταλήγουμε σε συμπέρασμα για το ποια σώματα πράγματι αντιδρούν.

Ιδιαίτερες περιπτώσεις

❖ Είναι δυνατό σε μια αντίδρασης εξουδετέρωσης να έχουμε ταυτόχρονα και τον σχηματισμό ιζήματος

Παράδειγμα:

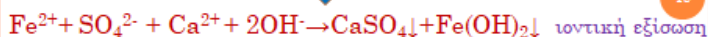


Η ιοντική εξίσωση πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα ιόντα που αντιδρούν, συνεπώς:



❖ Είναι δυνατό σε μια αντίδρασης διπλής αντικατάστασης να έχουμε ταυτόχρονα τον σχηματισμό 2 ιζημάτων.

Παράδειγμα:



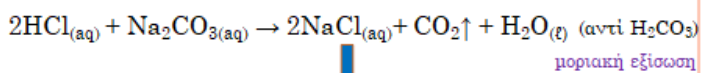
18

5^η φάση: Θίγουμε κάποιες ειδικές περιπτώσεις και δείχνουμε τον τρόπο γραφής των ιοντικών τους εξισώσεων.

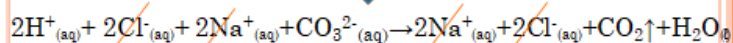
Εξουδετέρωση με ταυτόχρονο σχηματισμό ιζήματος.

Διπλή αντικατάσταση με σχηματισμό 2 ιζημάτων.

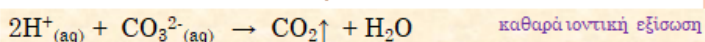
❖ Ιοντικές εξισώσεις όταν στα προϊόντα έχουμε:
 H_2CO_3 ή H_2SO_3 ή NH_4OH



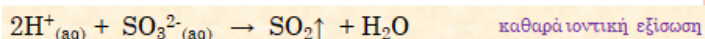
μοριακή εξίσωση



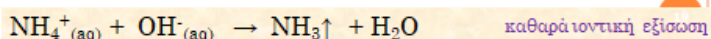
ιοντική εξίσωση



Αντίστοιχα



και

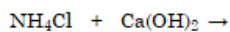
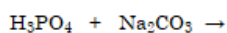
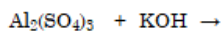
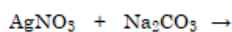
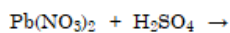


✚ Περίπτωση κατά την οποία έχουμε σαν προϊόν ένα εκ των

- H_2CO_3
- H_2SO_3
- NH_4OH

Άσκηση

Αφού διαβάσετε τις διαφάνειες, να γράψετε στο τετράδιό σας, για κάθε μία από τις παρακάτω αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης, 3 γραμμές. Στην 1^η γραμμή να γράψετε τη μοριακή εξίσωση. Στη 2^η γραμμή να γράψετε την ιοντική εξίσωση και τέλος στην 3^η γραμμή την καθαρά ιοντική.



20

6^η φάση

Ανάθεση εργασίας για το σπίτι. Ζητούμε από τους μαθητές να στείλουν τις απαντήσεις τους στο eclass.



21

Ευχαριστώ για την προσοχή σας

3.5.6 5^η διδακτική ώρα της προτεινόμενης μεθόδου: Οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης με ιοντικές εξισώσεις.

Στόχοι: Στο τέλος της διδακτικής ώρας, θα πρέπει οι μαθητές να μπορούν

1. Να αντικαθιστούν τους μοριακούς τύπους των ενώσεων μιας αντίδρασης εξουδετέρωσης με τα αντίστοιχα ιόντα ή μόρια και να σχηματίζουν την ιοντική εξίσωση της.
2. Να γράφουν την καθαρά ιοντική εξίσωση που αντικατοπτρίζει την πραγματική αντίδραση.
3. Να διακρίνουν τα ιόντα-παρατηρητές.
4. Να εξοικειώνονται με αναπαραστάσεις σε υπομικροσκοπικό επίπεδο που περιγράφουν την αντίδραση εξουδετέρωσης.

Στον πίνακα 16 παρουσιάζεται το σχέδιο του μαθήματος και τα βήματα που ακολουθεί ο διδάσκων.

Πίνακας 16: Σχέδιο μαθήματος 5ης διδακτικής ώρας

<p style="text-align: center;">5^ο Μάθημα</p> <p style="text-align: center;">Οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης με ιοντικές εξισώσεις</p> <p>Στο μάθημα αυτό</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Θα θυμηθούμε την πραγματική μορφή σωματιδίων που έχουν τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα στα υδατικά τους διαλύματα.✓ Θα μάθουμε να αντικαθιστούμε τους μοριακούς τύπους των ενώσεων με τα σωματίδια αυτά και να σχηματίζουμε την ιοντική εξίσωση μιας αντίδρασης εξουδετέρωσης.✓ Θα μάθουμε να γράφουμε την καθαρά ιοντική εξίσωση που αντικατοπτρίζει την πραγματική αντίδραση. <p style="text-align: right;">1</p>	<p>1^η φάση</p> <p>Ενημερώνουμε τους μαθητές για το θέμα του μαθήματος και ανακοινώνουμε τους στόχους του.</p>
--	---

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

από την **μοριακή εξίσωση**



στην **ιοντική εξίσωση**



και τέλος στην **καθαρά ιοντική εξίσωση**

2

Είδαμε, στα τελευταία μαθήματα, ότι

- και τα **οξέα**
- και οι **βάσεις**
- και τα **άλατα**

μέσα στο νερό βρίσκονται, πλήρως ή μερικώς, με την **μορφή ιόντων**.



3

2^η φάση

Υπενθυμίζουμε στους μαθητές ό,τι συζητήσαμε στο 1^ο μάθημα για την πραγματική σωματιδιακή φύση των οξέων, βάσεων και αλάτων στα υδατικά τους διαλύματα και το συνδέουμε με την αντίδραση της εξουδετέρωσης

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

Η **μοριακή εξίσωση**:



Αν θέλουμε όμως να γράψουμε τις ενώσεις με την πραγματική μορφή που έχουν μέσα στο νερό, πρέπει

να αντικαταστήσουμε το $\text{HCl}_{(aq)}$ με $\text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$

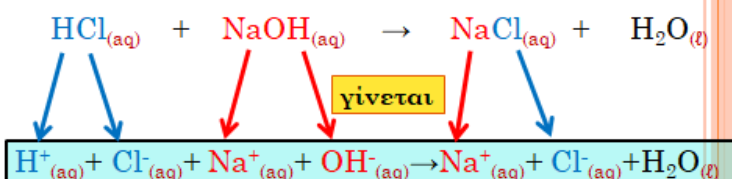
το $\text{NaOH}_{(aq)}$ με $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$

και το $\text{NaCl}_{(aq)}$ με $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$

4

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

Ετσι, η μοριακή εξίσωση



που αποτελεί την **ιοντική εξίσωση** της αντίδρασης
ή πιο απλοϊκά



ιοντική εξίσωση
(ionic equation)

3^η φάση

Μαθαίνουμε να περνάμε από τη μοριακή εξίσωση στην ιοντική εξίσωση.

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

Τα σώματα όμως που συμμετέχουν σαν αντιδρώντα σε μια χημική αντίδραση, **μετατρέπονται σε διαφορετικά σώματα** που αποτελούν τα προϊόντα της αντίδρασης.

Αν κάποιο σώμα **παραμένει ίδιο**, πριν και μετά την αντίδραση, σημαίνει ότι δεν έλαβε μέρος σε αυτήν και **δεν θα πρέπει να συμπεριληφθεί στα αντιδρώντα και στα προϊόντα της.**

4^η φάση: Το πέρασμα στην καθαρά ιοντική.

✚ Τονίζουμε ότι τα αντιδρώντα που γράφουμε σε μια αντίδραση είναι τα σώματα που υφίστανται αλλαγές.

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

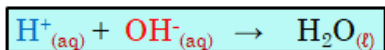
Με αυτή τη λογική, στην **ιοντική εξίσωση**



πρέπει να απαλειφθούν



οπότε καταλήγουμε στην

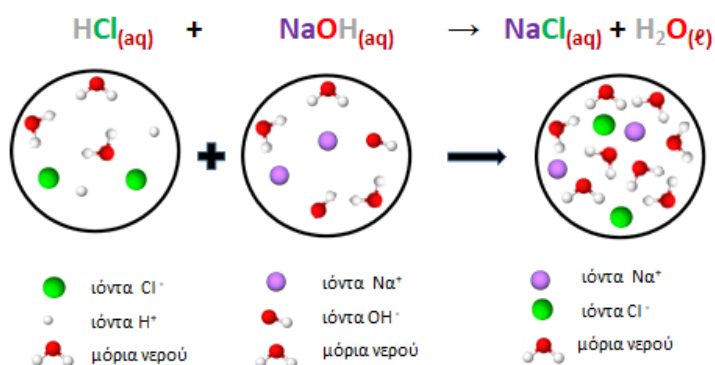


καθαρά ιοντική εξίσωση
(net ionic equation)

που αντικατοπτρίζει, με μεγαλύτερη ακρίβεια, την πραγματική αντίδραση.

✚ Μαθαίνουμε να περνάμε από την ιοντική εξίσωση στην καθαρά ιοντική.

Αναπαράσταση σε υπομικροσκοπικό επίπεδο

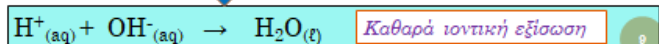
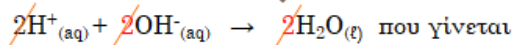
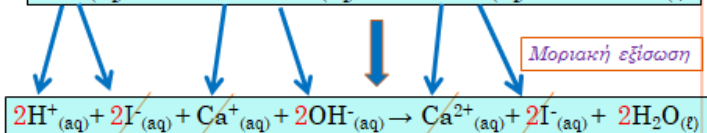
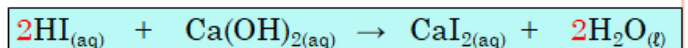


Τα H^+ ενώνονται με τα OH^- για να σχηματίσουν επιπλέον μόρια νερού (στο δοχείο με τα προϊόντα)

Χρησιμοποιούμε αναπαράσταση σε υπομικροσκοπικό επίπεδο μιας αντίδρασης εξουδετέρωσης και επισημαίνουμε τις αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί.

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

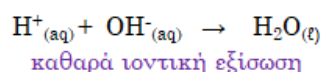
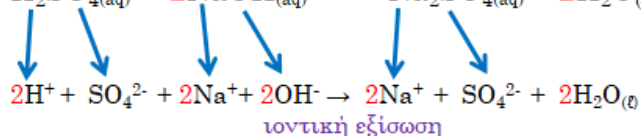
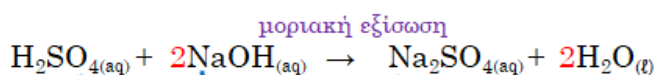
Άλλο παράδειγμα:



Χρησιμοποιούμε και άλλα παραδείγματα αντιδράσεων εξουδετέρωσης με διαφορετική στοιχειομετρία.

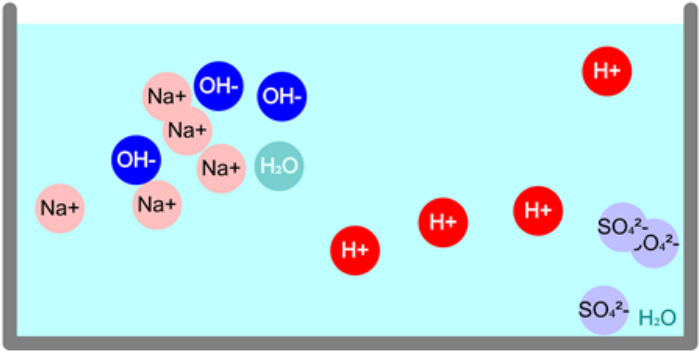

Αντιδράσεις εξουδετέρωσης

Κι ένα ακόμα παράδειγμα:



Τα ιόντα που δεν συμμετέχουν στην αντίδραση (Na^+ , SO_4^{2-}) ονομάζονται **ιόντα - παρατηρητές**

Ορίζουμε τα ιόντα-παρατηρητές

<p>https://javalab.org/en/neutralization_reaction_model_en/</p>  <p>Άσκηση για το σπίτι: Για κάθε μία από τις παρακάτω αντιδράσεις εξουδετέρωσης να γράψετε: α) τη μοριακή εξίσωση, β) την ιοντική εξίσωση, γ) την καθαρά ιοντική εξίσωση.</p> <p> $\text{HBr} + \text{NaOH} \rightarrow$ $\text{HNO}_3 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow$ $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{KOH} \rightarrow$ $\text{H}_2\text{S} + \text{NaOH} \rightarrow$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{KOH} \rightarrow$ </p> <p>11</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Από τον ιστότοπο JavaLab επιλέγουμε τη προσομοίωση μιας αντίδρασης εξουδετέρωσης που δείχνει τα ιόντα σε κίνηση. Προτρέπουμε τους μαθητές να «παιξουν» στο σπίτι τους με άλλα παραδείγματα. ✚ Αναθέτουμε εργασία που θα απαντηθεί στο eclass, για περαιτέρω εξάσκηση στο πέρασμα από τη μοριακή εξίσωση στην ιοντική και στην καθαρά ιοντική εξίσωση.
 <p>Ευχαριστώ για την προσοχή σας</p> <p>12</p>	

3.5.7 Η αλληλουχία μαθημάτων της ομάδας Ελέγχου.

1^η διδακτική ώρα. Α...μέρος: Θεωρία ηλεκτρολυτικής διάστασης.

Παρουσιάζονται τα 4 βασικά σημεία της Θεωρίας ηλεκτρολυτικής διάστασης όπως αναφέρονται στο σχολικό βιβλίο:

1. Όταν ο ηλεκτρολύτης (οξύ, βάση, άλας) διαλυθεί στο νερό, αυτός δίσταται σε κατιόντα (θετικά ιόντα) και ανιόντα (αρνητικά ιόντα).
2. Η διάσταση μπορεί να είναι πλήρης, ή μερική. Πλήρης αν δίσταται όλη η ποσότητα του ηλεκτρολύτη, και μερική, αν δίσταται μέρος αυτής.

3. Η διάσταση είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου.

4. Το συνολικό φορτίο των θετικών ιόντων είναι ίσο με το συνολικό φορτίο των αρνητικών ιόντων στο διάλυμα, ώστε το διάλυμα που προκύπτει να είναι ηλεκτρικό ουδέτερο.

B' μέρος: Τα Οξέα.

Ορισμός οξέων σύμφωνα με την θεωρία του Arrhenius.

Συμβολισμός και ονοματολογία ανόργανων οξέων.

Ταξινόμηση οξέων σε οξυγονούχα-μη οξυγονούχα, σε μονοπρωτικά-διπρωτικά και σε ισχυρά-ασθενή.

Στο τέλος του μαθήματος ανατίθεται εργασία στους μαθητές με ασκήσεις πάνω στα θέματα που εθίγησαν.

2^η διδακτική ώρα. A' μέρος: Οι βάσεις

Ορισμός βάσεων σύμφωνα με την θεωρία του Arrhenius.

Συμβολισμός και ονοματολογία ανόργανων βάσεων.

Ταξινόμηση βάσεων σε μονοπρωτικές-διπρωτικές και σε ισχυρές-ασθενείς

B' μέρος: Τα άλατα

Ορισμός αλάτων.

Συμβολισμός και ονοματολογία αλάτων.

Ταξινόμηση αλάτων σε οξυγονούχα-μη οξυγονούχα.

Στο τέλος του μαθήματος ανατίθεται εργασία στους μαθητές πάνω στις βάσεις και τα άλατα, με ασκήσεις πάνω στα θέματα που εθίγησαν.

3^η διδακτική ώρα. Οξίνος και βασικός χαρακτήρας

Ιδιότητες οξέων.

Ιδιότητες βάσεων.

Το pH.

4^η διδακτική ώρα. Οι αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.

Ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς προσέγγιση με το ίδιο περιεχόμενο και ίδια μέθοδο, με αυτή που εφαρμόστηκε στην Πειραματική ομάδα κατά τη διάρκεια της 2^{ης} διδακτικής της ώρας.

5^η διδακτική ώρα. Εξουδετέρωση

Ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς προσέγγιση με το ίδιο περιεχόμενο και ίδια μέθοδο, με αυτή που εφαρμόστηκε στην Πειραματική ομάδα κατά τη διάρκεια της 3^{ης} διδακτικής της ώρας.

3.6 Εργαλεία της έρευνας

3.6.1 Το ερωτηματολόγιο και η εγκυρότητά του

Αναζητήσαμε στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία κάποιο εργαλείο που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της παρούσας έρευνας – η οποία είναι μια ποσοτική έρευνα - και το οποίο να μπορεί να χρησιμεύσει στη μέτρηση των εξαρτημένων μεταβλητών της. Η έρευνα των Resa et al⁴⁵ με τίτλο «An Analysis of Undergraduate General Chemistry Students' Misconceptions of the Submicroscopic Level of Precipitation Reactions» (Ανάλυση των παρανοήσεων των προπτυχιακών φοιτητών γενικής Χημείας για το υπομικροσκοπικό επίπεδο αντιδράσεων καθίζησης), έχει κοινά σημεία με την δικιά μας εργασία, αλλά είναι μια ποιοτική έρευνα που χρησιμοποιεί τη συνέντευξη για τη συλλογή δεδομένων. Η εργασία της Γκίτζια με τίτλο «Διερεύνηση της Ικανότητας Μαθητών και Φοιτητών να Μεταφράζουν Χημικές Αναπαραστάσεις Διαφορετικού Τύπου. Ανάδειξη των Αντιλήψεών τους για Βασικές Χημικές Έννοιες»⁷, στο κομμάτι της ποσοτικής έρευνας που διενεργεί, χρησιμοποιεί ένα ερωτηματολόγιο με 15 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Οι ερωτήσεις αυτές αφορούν όλα τα είδη των μεταφράσεων ανάμεσα στα τρία επίπεδα Χημείας. Από τις ερωτήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν δύο, αφού όμως τροποποιήθηκαν κατά πολύ, ώστε να προσαρμοστούν στους δικούς μας στόχους. Με τη λογική της εξυπηρέτησης των στόχων που αναλύονται παρακάτω, δημιουργήθηκαν από εμάς και όλες οι υπόλοιπες ερωτήσεις, ώστε να καταλήξουμε σε ένα ερωτηματολόγιο – γνωστικό τεστ αποτελούμενο από δέκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.

Οι ερωτήσεις δόθηκαν αρχικά σε τρεις μαθητές Α΄ λυκείου άλλου σχολείου, με σκοπό να ελεγχθεί η δυνατότητα κατανόησής τους από μέρους των μαθητών. Στη συνέχεια δόθηκαν σε έναν πρώην σύμβουλο των Φυσικών Επιστημών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καθώς και σε δύο καθηγητές Χημείας με πάνω από εικοσαετή εμπειρία, οι οποίοι διδάσκουν το μάθημα σε όλες τις τάξεις του λυκείου, άρα και στην Α΄ λυκείου. Όλοι οι παραπάνω εμπειρογνώμονες διατύπωσαν απόψεις πάνω στη σαφήνεια των διατυπώσεων, την δυσκολία των ερωτήσεων και τους στόχους ή τυχόν επικαλύψεις στόχων που θεωρούσαν ότι υπάρχουν. Τέλος το ερωτηματολόγιο δόθηκε σε καθηγητή πανεπιστημίου με αντικείμενο την ανόργανη Χημεία για να ελεγχθεί η επιστημονική ορθότητά του. Όλες οι παρατηρήσεις των προαναφερθέντων αξιοποιήθηκαν για να γίνουν βελτιώσεις ώστε το ερωτηματολόγιο να αποκτήσει την τελική του μορφή, η οποία δημοσιεύεται στο Παράρτημα.

3.6.2 Στόχοι των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου

Οι συγκεκριμένοι στόχοι κάθε ερώτησης αναφέρονται στην παράγραφο 4.4. μαζί με τα αποτελέσματα και τις εναλλακτικές ιδέες που αναδεικνύονται από τις απαντήσεις των μαθητών, για καθεμία ερώτηση ξεχωριστά. Ολόκληρο το ερωτηματολόγιο δημοσιεύεται στο Παράρτημα.

Σε γενικές γραμμές, οι πρώτες πέντε ερωτήσεις αφορούν τον σωματιδιακό χαρακτήρα οξέων, βάσεων και αλάτων, είτε οι ενώσεις αυτές βρίσκονται σε υδατικό διάλυμα, είτε όχι. Οι άλλες πέντε αφορούν αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης ή εξουδετέρωσης και με αυτές επιχειρήθηκε να ανιχνεύσουμε το κατά πόσο οι μαθητές αντιλαμβάνονται ποιος είναι ο σωματιδιακός χαρακτήρας των αντιδρώντων και προϊόντων και ποιές χημικές μεταβολές συντελούνται.

Σε τέσσερις από τις δέκα ερωτήσεις ζητήθηκε να συνδεθούν συμβολικές αναπαραστάσεις ή πληροφορίες κειμένου με υπομικροσκοπική αναπαράσταση, ενώ στην τελευταία ερώτηση κλήθηκαν οι μαθητές να συνδυάσουν και τα τρία επίπεδα Χημείας.

Η διδασκαλία και η αξιολόγηση πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τους ίδιους στόχους και από κοινού να υποστηρίζουν την κατανόηση των μαθητών⁶⁷. Γενικά έγινε προσπάθεια να κατασκευαστούν εννοιολογικές ερωτήσεις ώστε να ανιχνευτεί αυτό που ορίστηκε παραπάνω ως μάθηση με κατανόηση, με τους περιορισμούς βέβαια στους οποίους υπόκειται ένα τέτοιο εγχείρημα όταν οι ερωτήσεις αυτές είναι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Δεν υπήρχαν ερωτήσεις που να σκοπεύουν στην αναζήτηση παρανοήσεων στη διατήρηση της μάζας ή στη μετάφραση της αναλογίας των σωματιδίων σε κατάλληλους συντελεστές στοιχειομετρίας. Επίσης δεν υπήρχαν ερωτήσεις κατασκευής αναπαραστάσεων από μέρος των μαθητών.

3.6.3 Η διδακτική παρέμβαση

Η διδακτική παρέμβαση περιελάμβανε πέντε διδακτικές ώρες και πραγματοποιήθηκε ενταγμένη μέσα στο τυπικό πρόγραμμα της κάθε τάξης. Αφορούσε τη διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης που έτσι κι αλλιώς αποτελεί θεματική περιοχή της διδασκόμενης ύλης. Αναλυτική περιγραφή των πέντε μαθημάτων, τόσο της ομάδας ελέγχου, όσο και της πειραματικής ομάδας έγινε στην παράγραφο 3.5. Μιλώντας πιο γενικά για τα χαρακτηριστικά της αλληλουχίας των μαθημάτων της διδακτικής πρότασης που εφαρμόστηκε στην πειραματική ομάδα, θα σημειώναμε ότι:

- ✚ Στο 1^ο μάθημα εξετάζεται ποια είναι η σωματιδιακή μορφή (άτομα, μόρια, ιόντα) που έχουν οι χημικές ενώσεις (οξέα, βάσεις, άλατα), που λαμβάνουν μέρος σε αυτές τις αντιδράσεις όταν βρίσκονται έξω από το νερό και ποια όταν βρίσκονται σε υδατικό διάλυμα,
- ✚ ii) Στο 2^ο και 3^ο μάθημα εξετάζονται αντίστοιχα οι αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος ή αερίου (αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης) και οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης μεταξύ ενός οξέος και μιας βάσης σε υδατικό διάλυμα, ακολουθώντας την παραδοσιακή διδασκαλία, δηλαδή με χρήση μοριακών εξισώσεων.
- ✚ iii) Στο 4^ο μάθημα οι μαθητές μαθαίνουν να αντικαθιστούν τους μοριακούς τύπους στις μοριακές εξισώσεις των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης, με τα αντίστοιχα ιόντα, σύμφωνα με ό,τι έχουν μάθει στο 1^ο μάθημα, δηλαδή μαθαίνουν να περνούν από τη μοριακή εξίσωση στην ιοντική. Τέλος περνούν στην καθαρά ιοντική εξίσωση και με αυτόν τον τρόπο αντιλαμβάνονται την πραγματική χημική μεταβολή που έχει συντελεστεί, την «πραγματική αντίδραση».
- ✚ iv) Στο 5^ο μάθημα εξετάζονται - με τον ίδιο τρόπο που έγινε στο 4^ο μάθημα - οι αντιδράσεις εξουδετέρωσης μεταξύ ενός οξέος και μιας βάσης σε υδατικό διάλυμα. Βασικό συστατικό του 1^{ου}, 4^{ου} και 5^{ου} μαθήματος, η ευρεία χρήση μικροσκοπικών και μακροσκοπικών αναπαραστάσεων σε αντιστοίχιση με τους χημικούς τύπους (συμβολικές αναπαραστάσεις), μέσα από εικόνες, animation και βίντεο.

Ο σχεδιασμός των μαθημάτων και των δύο ομάδων έλαβε υπόψη ότι τα μαθήματα θα διεξάγονταν διαδικτυακά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Μεθοδολογία – Ορισμός μεταβλητών

Ακολουθήσαμε το σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου που αποτελεί ένα οιονεί πειραματικό σχέδιο (βλέπε παράγραφο 3.4.2). Η ομάδα ελέγχου και η πειραματική ομάδα σχηματίστηκαν από έτοιμα τμήματα μαθητών της Α΄ λυκείου (άθικτες τάξεις). Χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικά ερευνητικά μέσα. Σχηματίστηκε ερωτηματολόγιο το οποίο διακινήθηκε σε δύο φάσεις: πριν τη διδακτική παρέμβαση και μετά από αυτή. Η διδακτική παρέμβαση και στις δύο ομάδες έγινε από τον ίδιο διδάσκοντα (τον ερευνητή). Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό SPSS.

Στην παρούσα έρευνα η ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρέασε την επίδοση των μαθητών ήταν η Μέθοδος που πήρε δύο τιμές: i) Μέθοδος 1 : Διδασκαλία εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και αναπαραστάσεις (στο SPSS καταχωρίστηκε ως «Ιοντικές εξισώσεις») και ii) Μέθοδος 2 : Παραδοσιακή διδασκαλία με μοριακές εξισώσεις (στο SPSS καταχωρίστηκε ως «Μοριακές εξισώσεις»). Κατά συνέπεια με τη μεταβλητή Μέθοδος προκλήθηκε μια συστηματική μεταβλητότητα (systematic variation), την οποία επιδιώξαμε να μετρήσουμε (Field σελ 51)⁶⁸.

Οι εξαρτημένες μεταβλητές ήταν οι επιδόσεις των μαθητών πριν και μετά την παρέμβαση («Βαθμολογία πριν» και «Βαθμολογία μετά» αντίστοιχα) καθώς και η διαφορά των δύο αυτών επιδόσεων η οποία στο SPSS καταχωρίστηκε ως «Διαφορά (μετά-πριν)».

4.2 Περιγραφή της έρευνας

4.2.1 Το δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν 137 μαθητές της Α΄ λυκείου (10^η τάξη) οι οποίοι φοιτούσαν σε Ημερήσιο Γενικό Λύκειο των νοτίων προαστείων της Αθήνας (Δημόσιο Σχολείο). Από αυτούς, οι 68 (29 αγόρια και 39 κορίτσια) αποτελούσαν την πειραματική ομάδα και 69 μαθητές (30 αγόρια και 39 κορίτσια) αποτελούσαν την ομάδα ελέγχου. Ο τρόπος επιλογής του δείγματος σχολιάστηκε στην παράγραφο 3.4.2. Οι μαθητές γνώριζαν ότι συμμετείχαν στην έρευνα, αλλά δεν είχε συζητηθεί η ύπαρξη δύο ομάδων. Κατά συνέπεια δεν γνώριζαν αν συμμετείχαν σε πειραματική ομάδα ή σε ομάδα ελέγχου.

4.2.2 Τα βήματα της έρευνας

Για τη διεξαγωγή της έρευνάς μας λάβαμε άδεια από το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων και ενημερώσαμε την διοίκηση του σχολείου η οποία ενέκρινε τη διεξαγωγή της έρευνας. Επιπλέον, ενημερώσαμε τους μαθητές και τους γονείς τους σχετικά με τους στόχους της παρούσας μελέτης και ζητήθηκε η έγκριση των γονέων για τη συμμετοχή των παιδιών τους. Υπήρξε μόνο μια άρνηση συμμετοχής. Το ερωτηματολόγιο ήταν ανώνυμο και οι μαθητές συμπλήρωναν το φύλο τους.

Κατά το μεγαλύτερο μέρος του σχολικού έτους 2020-21, έτος διεξαγωγής της έρευνας, τα σχολεία ήταν κλειστά λόγω της πανδημίας Covid-19 και τα μαθήματα διεξάγονταν με τη μέθοδο της σύγχρονης εξ' αποστάσεως διδασκαλίας (τηλεκπαίδευση). Σε αυτό το πλαίσιο λοιπόν, διεξήχθη η πρώτη διακίνηση του ερωτηματολογίου καθώς και η διδακτική παρέμβαση, όχι όμως η δεύτερη διακίνηση του ερωτηματολογίου, η οποία έγινε διαζώσης.

Το ερωτηματολόγιο δόθηκε για πρώτη φορά αφού οι μαθητές είχαν διδαχθεί τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό (υποκεφάλαιο 2.3 του σχολικού βιβλίου) και τη «γραφή χημικών τύπων και εισαγωγή στην ονοματολογία των ενώσεων» (υποκεφάλαιο 2.4), σύμφωνα με το ΑΠΣ και τις οδηγίες του υπουργείου. Η συμπλήρωση της γνωστικής δοκιμασίας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είχε σα σκοπό την αποτύπωση των γνώσεων των μαθητών πριν την οποιαδήποτε διδακτική παρέμβαση αλλά και τον έλεγχο του επιπέδου δυναμικότητας των δύο ομάδων. Συνεπώς, επρόκειτο για ένα pretest (Τεστ Πριν) το οποίο διακινήθηκε ηλεκτρονικά μέσω της επίσημης ηλεκτρονικής πλατφόρμας του ΥΠΑΙΘ «Σχολική Τάξη (η-τάξη)» και το εργαλείο της «Ασκήσεις» κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής ώρας. Υπήρξε μέριμνα, οι μαθητές να έχουν εξοικειωθεί, σε προηγούμενα μαθήματα, με το συγκεκριμένο εργαλείο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης (αντιδράσεις σχηματισμού ιζήματος ή αερίου και αντιδράσεις εξουδετέρωσης) με διαφορετική, όμως, μέθοδο σε κάθε ομάδα. Πιο συγκεκριμένα, στη πειραματική ομάδα έγινε η διδασκαλία των αντιδράσεων εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις ενώ στην ομάδα ελέγχου η διδασκαλία έγινε με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή με μοριακές εξισώσεις. Η αλληλουχία και το περιεχόμενο των μαθημάτων των δύο μεθόδων περιγράφεται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο «Σχέδια μαθημάτων και πρότερες ενέργειες» καθώς και στην παράγραφο 3.6.3. Τα μαθήματα αυτά, όπως αναφέρθηκε ήδη, διεξήχθησαν διαδικτυακά.

Σύντομα μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, οι μαθητές επανήλθαν στα σχολεία και ξεκίνησε η δια ζώσης διδασκαλία. Τότε οι μαθητές και των δύο ομάδων κλήθηκαν να συμπληρώσουν το ίδιο γνωστικό τεστ με αυτό που είχαν συμπληρώσει αρχικά, κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής ώρας. Ο καθαρός χρόνος που είχαν στη διάθεση τους υπολογίζεται γύρω στα 30 λεπτά, όσος χρόνος διατέθηκε και κατά τη πρώτη συμπλήρωση.

Στη συνέχεια, αρχίσαμε την καταγραφή των αποτελεσμάτων. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα στατιστικού λογισμικού SPSS.

4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων προελέγχου και μετα-ελέγχου

4.3.1 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Στον πίνακα 17 εμφανίζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας. Ως «Βαθμολογία πριν» χαρακτηρίζεται η επίδοση των μαθητών στο γνωστικό τεστ που δόθηκε πριν την διδακτική παρέμβαση και ως «Βαθμολογία μετά» η επίδοση των μαθητών στο γνωστικό τεστ που δόθηκε μετά την διδακτική παρέμβαση. Η κλίμακα μέτρησης ήταν από 0 έως 10 και προέκυψε από το άθροισμα της βαθμολογίας των 10 ερωτήσεων (1 βαθμός για καθεμία από τις 10 ερωτήσεις). Ως «Διαφορά μετά-πριν» χαρακτηρίζεται η διαφορά της «Βαθμολογία μετά» μείον τη «Βαθμολογία πριν».

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα στατιστικού λογισμικού SPSS.

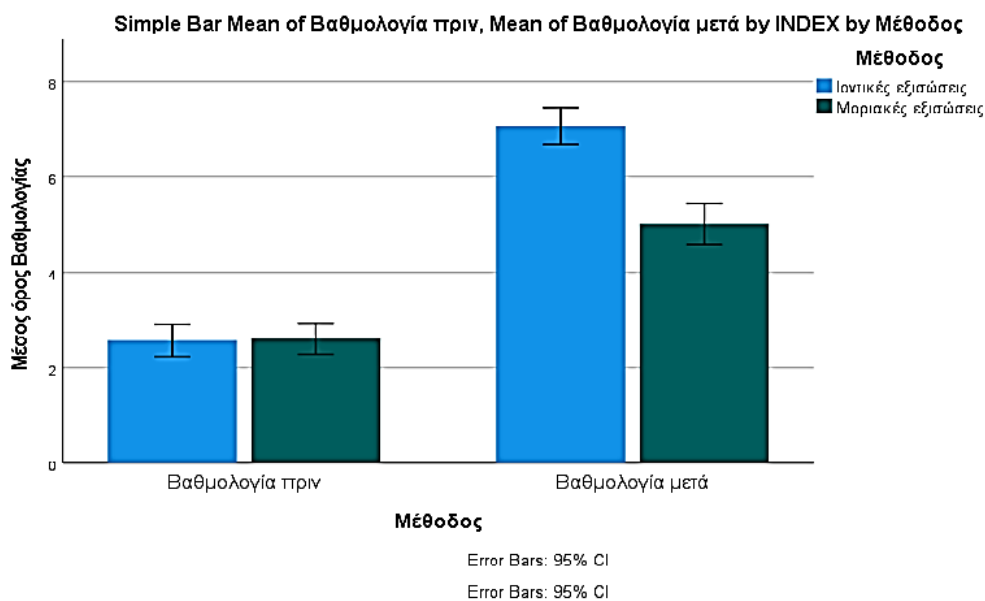
Η μέση τιμή για τη «Βαθμολογία πριν» είναι 2,57 για την Πειραματική ομάδα (Μέθοδος 1) και 2,61 για την ομάδα Ελέγχου (Μέθοδος 2). Οι αντίστοιχες τιμές για το «Βαθμολογία μετά» είναι 7,07 και 5,01 για τις δύο ομάδες. Σε κάθε περίπτωση, όπως έχει ήδη επισημανθεί στη συζήτηση για την εγκυρότητα της συγκεκριμένης έρευνας, μεγάλη σημασία παίζουν οι τιμές της μεταβλητής «Διαφορά μετά-πριν» αφού από εκεί μπορούμε να συνάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα για το κατά πόσον επέδρασε η μέθοδος διδασκαλίας στην επίδοση των μαθητών. Βλέπουμε ότι η μέση τιμή για την «Διαφορά μετά-πριν» για την Πειραματική ομάδα είναι 4,50 ενώ για την ομάδα Ελέγχου είναι 2,41.

Το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής και για τις τέσσερις μετρήσεις («Βαθμολογία πριν», «Βαθμολογία μετά» για καθεμία από τις δύο ομάδες) έχει μικρή τιμή σε σχέση με την αντίστοιχη μέση τιμή της μέτρησης και επομένως τα δύο δείγματά μας (οι δύο ομάδες), αντιπροσωπεύουν τον πληθυσμό με τρόπο ικανοποιητικό. Η τυπική απόκλιση (SD) για

τη μέτρηση «Γνωστικό τεστ μετά», και των δύο ομάδων είναι μικρή σε σχέση με τη αντίστοιχη μέση τιμή (\bar{X}) (Πειραματική: $SD=1,605$ με $\bar{X}=7,07$ και Ελέγχου: $SD=1,795$ με $\bar{X}=7,07$). Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες βαθμολογίες των μαθητών σε αυτά τα τεστ συγκεντρώνονται γύρω από τη μέση τιμή. Δεν συμβαίνει το ίδιο με τα αποτελέσματα του «Γνωστικό τεστ πριν» των δύο ομάδων (Πειραματική: $SD=1,375$ με $\bar{X}=2,57$ και Ελέγχου: $SD=1,331$ με $\bar{X}=2,61$).

Πίνακας 17. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας

	Μέθοδος 1 : Διδασκαλία εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και αναπαραστάσεις			Μέθοδος 2 : Παραδοσιακή διδασκαλία με μοριακές εξισώσεις		
	Βαθμολογία πριν (BπρινI)	Βαθμολογία μετά (BμετάI)	Διαφορά μετά-πριν	Βαθμολογία πριν (BπρινM)	Βαθμολογία μετά (BμετάM)	Διαφορά μετά-πριν
Μέση Τιμή	2,57	7,07	4,50	2,61	5,01	2,41
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	0,167	0,195	0,128	0,160	0,216	0,141
Διάμεσος	2	7	5	3	5	3
Διακύμανση	1,890	2,577	1,119	1,771	3,220	1,362
Τυπική απόκλιση	1,375	1,605	1,058	1,331	1,795	1,167
Εύρος	6	7	5	6	8	7
Ασυμμετρία	0,996	-0,502	-1,441	0,839	-0,007	-1,080
Κύρτωση	0,963	0,055	1,932	0,832	-0,252	2,287



Σχήμα 4: Ράβδοι σφάλματος του Μ.Ο. βαθμολογίας στο τεστ πριν και στο τεστ μετά. Με γαλάζιο η Πειραματική ομάδα και με σκούρο-πράσινο η ομάδα Ελέγχου.

Το σχήμα 4 είναι ένα ραβδόγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι μέσες τιμές (Μ.Ο.) των βαθμολογιών στο γνωστικό τεστ που δόθηκε στους μαθητές και των δύο ομάδων τόσο πριν όσο και μετά την διδακτική παρέμβαση. Στις ράβδους απεικονίζονται και τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Για λόγους καλύτερης κατανόησης, στο SPSS χρησιμοποιήθηκε ο όρος «Ιοντικές εξισώσεις» αντί του «Μέθοδος 1» και ο όρος «Μοριακές εξισώσεις» αντί του «Μέθοδος 2» για να επισημανθούν οι δύο τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής που είναι η Μέθοδος. Μας ενδιαφέρει να γίνουν οι παρακάτω συγκρίσεις που περιέχουν έξι εξαρτημένες μεταβλητές:

- Η «Βαθμολογία πριν» της Πειραματικής ομάδας (μέθοδος Ιοντικές εξισώσεις) ως προς την «Βαθμολογία πριν» της ομάδας Ελέγχου (μέθοδος Μοριακές εξισώσεις).
- Η «Βαθμολογία μετά» της Πειραματικής ομάδας (μέθοδος Ιοντικές εξισώσεις) ως προς την «Βαθμολογία μετά» της ομάδας Ελέγχου (μέθοδος Μοριακές εξισώσεις).
- Η «Διαφορά μετά-πριν» της Πειραματικής ομάδας (μέθοδος Ιοντικές εξισώσεις) ως προς την «Διαφορά μετά-πριν» της ομάδας Ελέγχου (μέθοδος Μοριακές εξισώσεις).

Προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος στατιστικής ανάλυσης για τις συγκρίσεις αυτές, πρέπει να προηγηθεί έλεγχος κανονικότητας της κατανομής των συχνοτήτων των έξι αυτών μεταβλητών. Εφαρμόστηκαν i)οι έλεγχοι Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk, ii)Η εξέταση του ιστογράμματος και του Q-Q γραφήματος iii) ο υπολογισμός των κανονικοποιημένων τιμών της λοξότητας και της κύρτωσης.

4.3.2 Σύγκριση ανάμεσα στη «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις»

4.3.2.1 Έλεγχοι κανονικότητας

i) Σύμφωνα με τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov (K-S), όπως δείχνει ο πίνακας 18, η κατανομή των παρατηρήσεων της «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» (σύντμηση:ΒπρινI), $D(68)=0,206$, $p < 0,001$ αποκλίνει σημαντικά από την κανονική

Πίνακας 18: Έλεγχοι κανονικότητας για τις κατανομές της «ΒπρινI» και «ΒπρινM»

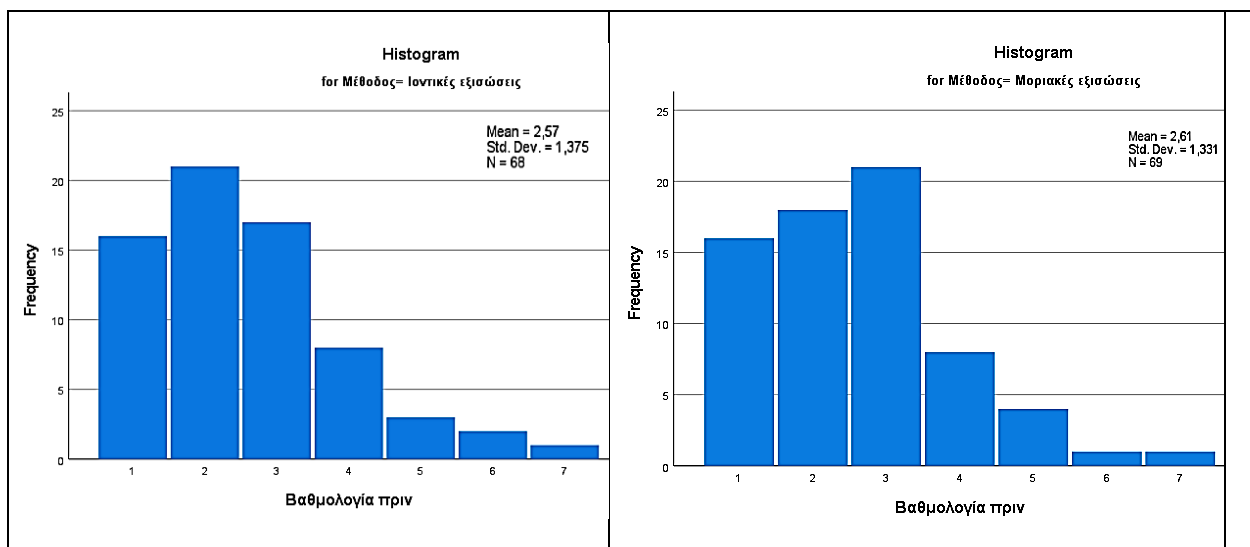
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Μέθοδος		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Βαθμολογία πριν	Ιοντικές εξισώσεις	,206	68	<,001	,881	68	<,001
	Μοριακές εξισώσεις	,181	69	<,001	,894	69	<,001

a. Lilliefors Significance Correction

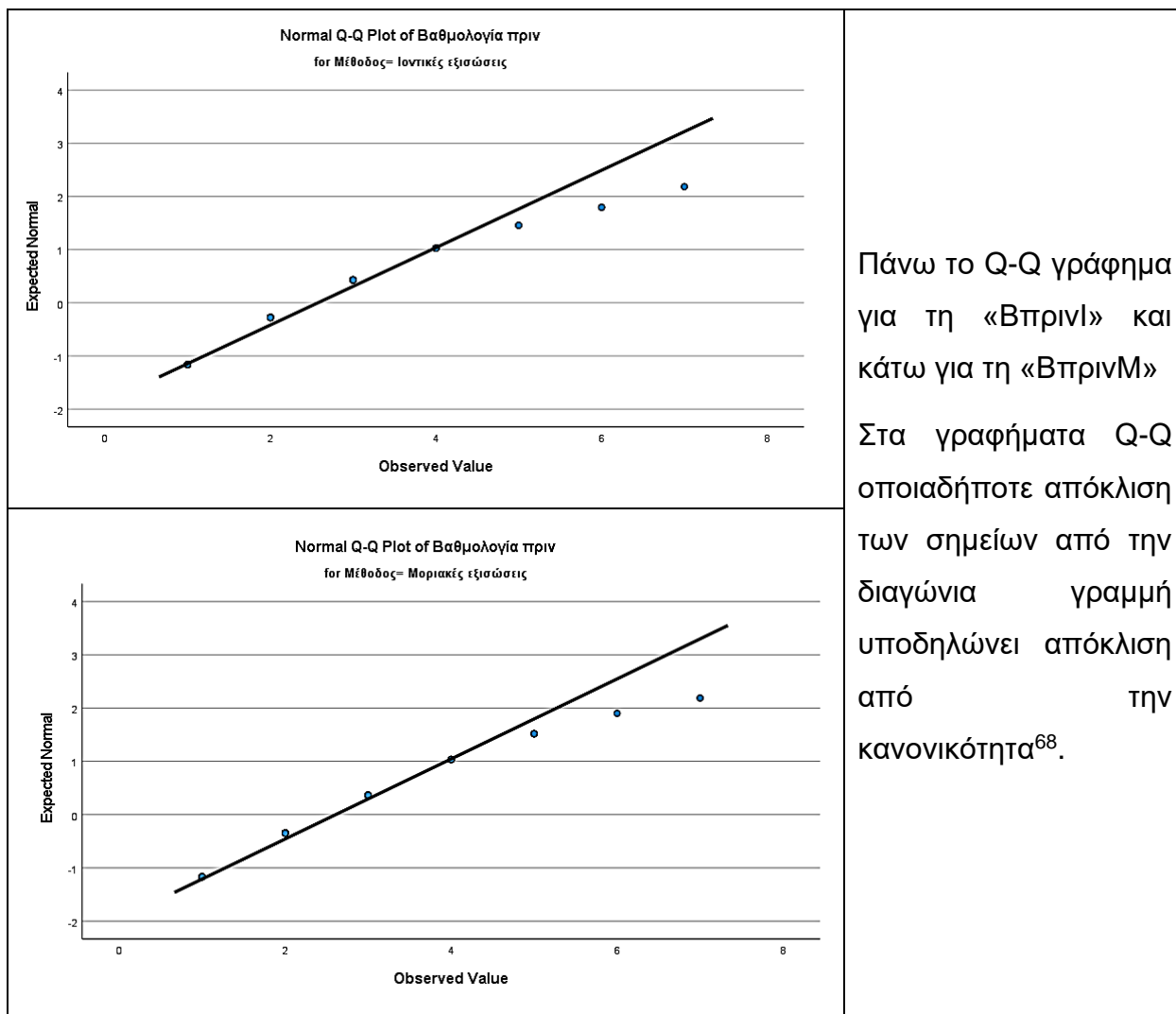
κατανομή⁶⁸. Στο ίδιο συμπέρασμα μας οδηγεί και ο έλεγχος Shapiro-Wilk αφού αποδεικνύεται στατιστικά σημαντικός ($p < 0,001$), άρα απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση της κανονικότητας.

Η κατανομή των παρατηρήσεων της «Βαθμολογία πριν» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις» (σύντμηση:ΒπρινM), $D(69)=0,181$, $p < 0,001$ σύμφωνα με τον έλεγχο K-S, αποκλίνει και αυτή σημαντικά από την κανονική κατανομή. Στο ίδιο συμπέρασμα μας οδηγεί και ο έλεγχος Shapiro-Wilk (πίνακας 18).

ii) Τα ευρήματα από τα ιστογράμματα (σχήμα 5) και τα γραφήματα Q-Q (σχήμα 6) τα οποία (γραφήματα) απεικονίζουν γραφικά τα ποσοστημόρια των δεδομένων αντί για κάθε τιμή, φανερώνουν έλλειψη κανονικότητας.



Σχήμα 5: Ιστογράμματα για τη «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων.



Πάνω το Q-Q γράφημα για τη «ΒπρινI» και κάτω για τη «ΒπρινM»
 Στα γραφήματα Q-Q οποιαδήποτε απόκλιση των σημείων από την διαγώνια γραμμή υποδηλώνει απόκλιση από την κανονικότητα⁶⁸.

Σχήμα 6: Q-Q γραφήματα για τη «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων

iii) Τέλος εξετάζουμε τις κανονικοποιημένες τιμές της λοξότητας (S:skewness) και της κύρτωσης (K:kurtosis): $Z_{skewness} = \frac{S - 0}{SE_{skewness}} = Z_s$ και $Z_{kurtosis} = \frac{K - 0}{SE_{kurtosis}} = Z_k$. Αν οι απόλυτες τιμές των Z_s και Z_k είναι μικρότερες του 1,96 έχουμε ενδείξεις ότι η κατανομή είναι κανονική⁶⁹. Υπολογίζουμε:

Για τη «ΒπρινI» έχουμε $Z_s = \frac{0,996}{0,291} = 3,423$ άρα μη κανονική κατανομή και

$Z_k = \frac{0,963}{0,574} = 1,677$ άρα κανονική κατανομή

για την «ΒπρινM» έχουμε $Z_s = \frac{0,839}{0,289} = 2,903$ άρα μη κανονική κατανομή και

$Z_k = \frac{0,832}{0,570} = 1,460$ άρα κανονική κατανομή.

4.3.2.2 T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα με τη μέθοδο Bootstrap

Οι περισσότεροι από τους ελέγχους που διεξήχθησαν παραπάνω, συμφώνησαν ότι η κατανομή των συχνοτήτων των μεταβλητών «BπρινI» και «BπρινM» αποκλίνει από την κανονική κατανομή. Γι' αυτό επιλέχθηκε, ως ο καταλληλότερος έλεγχος για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας, το «T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων από ανεξάρτητα δείγματα (T-test Independent samples)» με τη μέθοδο Bootstrap η οποία είναι μια εύρωστη μέθοδος που αντιμετωπίζει το πρόβλημα της έλλειψης κανονικότητας, η ύπαρξη της οποίας αποτελεί προϋπόθεση για την εφαρμογή του T-test⁶⁸.

Πίνακας 19: Περιγραφικά στατιστικά για τις 2 μεθόδους κατά τον προέλεγχο

Μέθοδος			Statistic	Bootstrap ^a			
				Bias	Std. Error	BCa 95% Confidence Interval	
					Lower	Upper	
Βαθμολογία πριν	Ιοντικές εξισώσεις	N	68				
		Mean	2,57	,00	,17	2,25	2,93
		Std. Deviation	1,375	-,010	,137	1,106	1,626
		Std. Error Mean	,167				
	Μοριακές εξισώσεις	N	69				
		Mean	2,61	,01	,17	2,25	2,97
		Std. Deviation	1,331	-,012	,136	1,087	1,563
		Std. Error Mean	,160				

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Στον πίνακα 19 παρατηρούμε ότι, για τη βαθμολογία πριν τη διδασκαλία, το διάστημα εμπιστοσύνης μέσω της μεθόδου bootstrapping για τους μέσους κυμαίνεται από 2,25 έως 2,93 για την ομάδα που στη συνέχεια διδάχτηκε την πειραματική μέθοδο και από 2,25 έως 2,97 για την ομάδα που στη συνέχεια διδάχτηκε την παραδοσιακή μέθοδο. Δηλαδή τα δύο διαστήματα σχεδόν αλληλοεπικαλύπτονται πλήρως.

Πίνακας 20: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα κατά τον προέλεγχο

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
Βαθμολογία πριν	Equal variances assumed	0,051	0,822	-0,152	135	0,440	0,879	-0,035	0,231	-0,492	0,422
	Equal variances not assumed			-0,152	134,700	0,440	0,879	-0,035	0,231	-0,492	0,422

Με τον έλεγχο Levene θα ελέγξουμε αν οι διακυμάνσεις των δύο ομάδων είναι ίσες, πράγμα που αποτελεί προϋπόθεση ενός παραμετρικού ελέγχου. Στον πίνακα 20 παρατηρούμε ότι η τιμή του ελέγχου Levene είναι στατιστικά μη σημαντική ($p=0,822>0,05$) συνεπώς δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις είναι ίσες και εξετάζουμε τα αποτελέσματα της 1^{ης} οριζόντιας γραμμής. Οσον αφορά το T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων, παρατηρούμε ότι η τιμή του p για δίπλευρο έλεγχο σημαντικότητας είναι $p=0,879>0,05$ οπότε συμπεραίνουμε ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap

		Bootstrap for Independent Samples Test					
		Mean Difference	Bias	Std. Error	Bootstrap ^a		
					Sig. (2-tailed)	BCa 95% Confidence Interval	
					Lower	Upper	
Βαθμολογία πριν	Equal variances assumed	-,035	-,004	,232	,876	-,468	,425
	Equal variances not assumed	-,035	-,004	,232	,876	-,468	,425

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

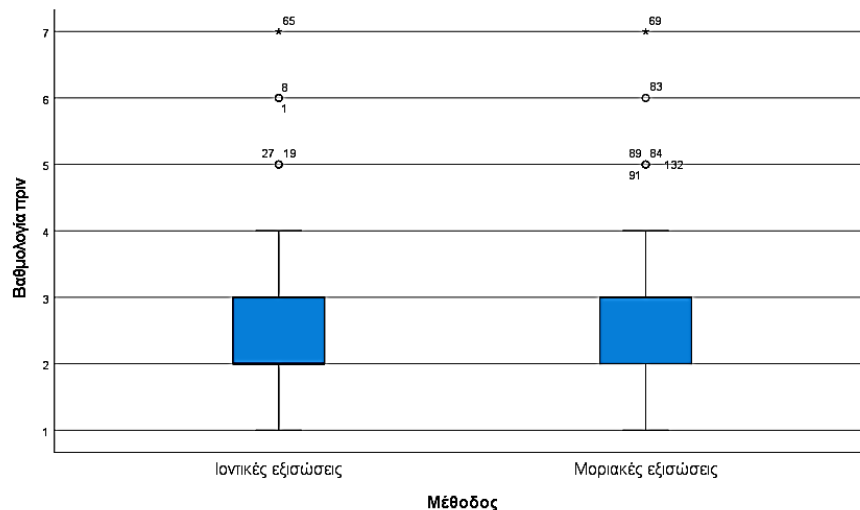
Το SPSS, όπως φαίνεται στον πίνακα 21 υπολόγισε ένα διάστημα εμπιστοσύνης προσαρμοσμένο με τη μέθοδο bootstrap για την υπολογιζόμενη διαφορά μεταξύ των μέσων, η οποία με στρογγυλοποίηση ισούται με -0,04. Το διάστημα εμπιστοσύνης κυμαίνεται από -0,468 έως 0,425 και υπονοεί ότι η διαφορά των μέσων στον πληθυσμό θα μπορούσε να είναι αρνητική, θετική ή και μηδενική.

Συμπέρασμα: Οι βαθμολογίες των μαθητών της Πειραματικής ομάδας (μέθοδος διδασκαλίας εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις), συγκέντρωσαν στο γνωστικό τεστ πριν τη διδασκαλία, έναν μέσο όρο ελάχιστα πιο μικρό ($M=2,57$, $SE=0,17$), από εκείνον που συγκέντρωσαν οι μαθητές της ομάδας Ελέγχου (παραδοσιακή μέθοδος διδασκαλίας) ($M=2,61$, $SE=0,16$). Αυτή η διαφορά, -0,04, BCa 95% CI [-0,468, 0,425], δεν ήταν σημαντική $t(135)=-0,15$, $p=0,879$ και αντιπροσώπευε μια επίδραση πολύ μικρού μεγέθους, $d=0,03$.*

Τέλος για να ολοκληρωθεί η εικόνα των δεδομένων για τις δύο μεταβλητές, παρατίθενται στο σχήμα 7 τα δύο θηκογράμματα όπου παρατηρούμε και τις ακραίες τιμές που υπάρχουν.

*Το κριτήριο d του Cohen είναι ένας τρόπος μέτρησης του μεγέθους επίδρασης (effect size) και υπολογίζεται

με τη σχέση: $\hat{d} = \frac{X_{\text{BπρινM}} - X_{\text{BπρινI}}}{S_{\text{BπρινM}}} = \frac{2,61 - 2,57}{1,331} = 0,03$ Σύμφωνα με τον Cohen^{Cohen} $d=0,2$ (μικρό), $0,5$ (μέτριο), $0,8$ (μεγάλο).



Σχήμα 7: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων

4.3.3 Σύγκριση ανάμεσα στη «Βαθμολογία μετά» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Βαθμολογία μετά» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις»

4.3.3.1 Έλεγχοι κανονικότητας

Εφαρμόστηκαν οι ίδιοι έλεγχοι κανονικότητας της κατανομής των συχνοτήτων των δύο μεταβλητών με αυτούς της παραγράφου 4.3.2.1

i) Σύμφωνα με τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov (πίνακας 22) η κατανομή των παρατηρήσεων της «ΒμετάΙ», $D(68)=0,173$, $p < 0,001$ αποκλίνει σημαντικά από την κανονική κατανομή. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε με τον έλεγχο Shapiro - Wilk ($p < 0,005$), άρα απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση της κανονικότητας.

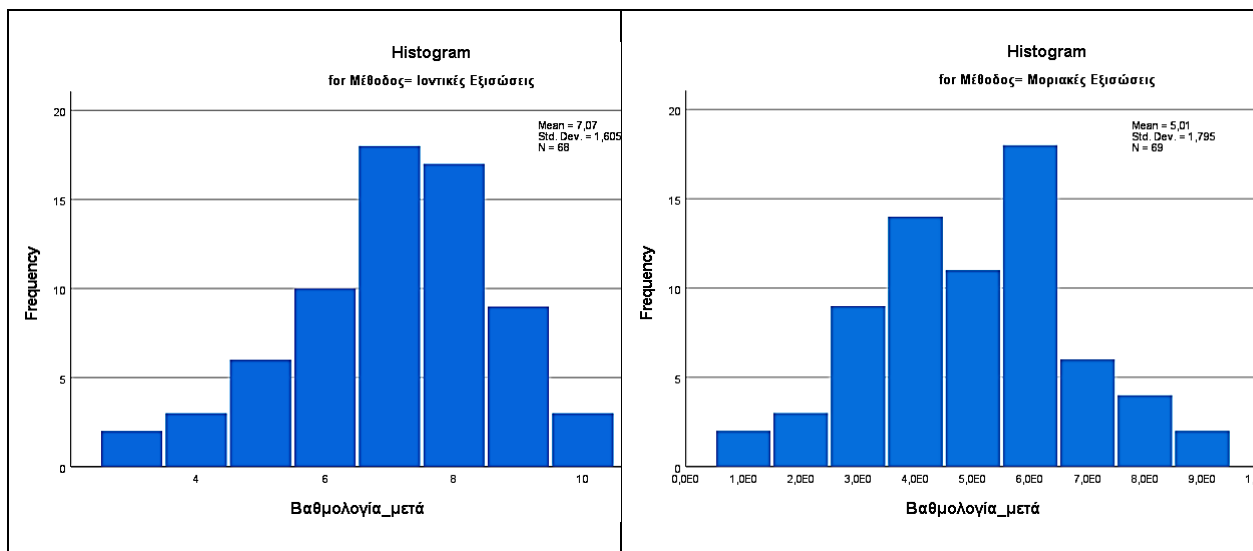
Πίνακας 22: Έλεγχοι κανονικότητας για τις κατανομές της "ΒμετάΙ" και "Βμετά Μ"

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Μέθοδος	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Βαθμολογία_μετά	Ιοντικές Εξισώσεις	,173	68	<,001	,946	68	,005
	Μοριακές Εξισώσεις	,143	69	,001	,966	69	,059

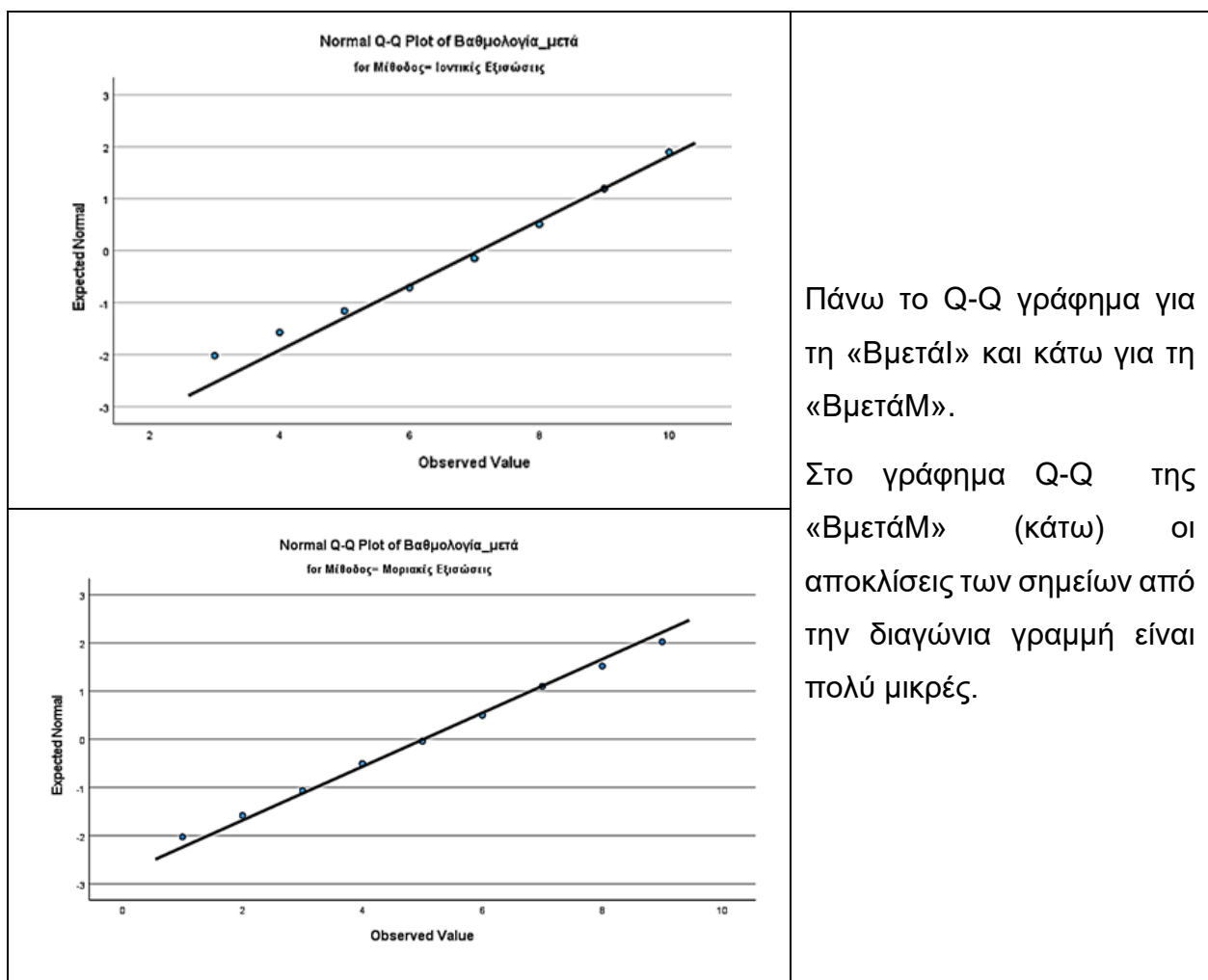
a. Lilliefors Significance Correction

Η κατανομή των παρατηρήσεων της «ΒμετάΜ», $D(69)=0,143$, $p=0,001$ σύμφωνα με τον έλεγχο K-S, αποκλίνει σημαντικά από την κανονική κατανομή. Σε διαφορετικό όμως συμπέρασμα μας οδηγεί ο έλεγχος Shapiro-Wilk με $p=0,059$ (οριακά $>0,05$)

ii) Το ιστόγραμμα της «ΒμετάΙ» (σχήμα 8 αριστερά) και το γράφημα Q-Q (σχήμα 9 πάνω) φανερώνουν έλλειψη κανονικότητας ενώ για τη μεταβλητή «ΒμετάΜ» το ιστόγραμμα της (σχήμα 8 δεξιά) και το γράφημα Q-Q (σχήμα 9 κάτω) δεν δίνουν μια ξεκάθαρη εικόνα.



Σχήμα 8: Ιστογράμματα για τη «Βαθμολογία μετά» των δύο ομάδων



Πάνω το Q-Q γράφημα για τη «ΒμετάΙ» και κάτω για τη «ΒμετάΜ».

Στο γράφημα Q-Q της «ΒμετάΜ» (κάτω) οι αποκλίσεις των σημείων από την διαγώνια γραμμή είναι πολύ μικρές.

Σχήμα 9: Q-Q γραφήματα για τη «Βαθμολογία μετά» των δύο ομάδων

iii) Οι κανονικοποιημένες τιμές της λοξότητας και της κύρτωσης,

για τη «ΒμετάΙ» έχουμε $Z_s = \frac{-0,502}{0,291} = 1,725$ ($<1,96$ άρα μάλλον κανονική κατανομή)

και $Z_k = \frac{0,55}{0,574} = 0,959$ ($<1,96$ άρα κανονική κατανομή)

για την «ΒμετάΜ» έχουμε $Z_s = \frac{-0,007}{0,289} = -0,024$ με $|Z_s| < 1,96$ άρα κανονική κατανομή

και $Z_k = \frac{-0,252}{0,570} = -0,442$ με $|Z_k| < 1,96$ άρα κανονική κατανομή.

4.3.3.2 T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα με τη μέθοδο Bootstrap

Τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων κανονικότητας δεν συμφωνούν μεταξύ τους στα συμπεράσματα για τις κατανομές συχνοτήτων των δύο μεταβλητών. Θα λέγαμε ότι οι ενδείξεις για την «ΒμετάΙ» είναι ότι μάλλον αποκλίνει από την κανονική κατανομή ενώ για τη «ΒμετάΜ» ότι μάλλον ακολουθεί την κανονική κατανομή. Γι' αυτό επιλέχθηκε, ως ο καταλληλότερος έλεγχος για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας, το «T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων από ανεξάρτητα δείγματα (T-test Independent samples)» με τη μέθοδο Bootstrap για τους λόγους που εξηγήθηκαν στην 4.3.2.2.

Πίνακας 23: Περιγραφικά στατιστικά για τις 2 μεθόδους κατά τον μετα-έλεγχο

Μέθοδος	Statistic	Bias	Std. Error	Bootstrap ^a	
				BCa 95% Confidence Interval Lower	Upper
Βαθμολογία_μετά Ιοντικές Εξιιώσεις	N	68			
	Mean	7,07	-,01	,20	6,65 7,42
	Std. Deviation	1,605	-,014	,135	1,331 1,825
	Std. Error Mean	,195			
Μοριακές Εξιιώσεις	N	69			
	Mean	5,01	,00	,22	4,59 5,43
	Std. Deviation	1,795	-,014	,143	1,523 2,051
	Std. Error Mean	,216			

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Στον πίνακα 23 παρατηρούμε ότι, για τη βαθμολογία μετά τη διδασκαλία, το διάστημα εμπιστοσύνης μέσω της μεθόδου bootstrapping για τους μέσους κυμαίνεται από 6,65 έως 7,42 για την ομάδα που είχε διδαχθεί την πειραματική μέθοδο και από 4,59 έως 5,43 για την ομάδα που είχε διδαχθεί την παραδοσιακή μέθοδο. Δεν υπάρχει καμμία κοινή περιοχή σε αυτά τα διαστήματα, κατά συνέπεια συμπεραίνουμε ότι οι δύο ομάδες είχαν σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους στο γνωστικό τεστ μετά τη διδασκαλία.

Πίνακας 24: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα κατά τον μετα-έλεγχο

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
Βαθμολογία μετά	Equal variances assumed	1,334	0,250	7,075	135	<,001	<,001	2,059	0,291	1,483	2,635
	Equal variances not assumed			7,081	133,756	<,001	<,001	2,059	0,291	1,484	2,634

Στον πίνακα 24 παρατηρούμε ότι η τιμή του ελέγχου Levene είναι στατιστικά μη σημαντική ($p=0,250 > 0,05$) συνεπώς δεν απορρίπτω τη μηδενική υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις είναι ίσες. Οσον αφορά το T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων, παρατηρούμε ότι η τιμή του p για δίπλευρο έλεγχο σημαντικότητας είναι μικρότερη από 0,001 οπότε συμπεραίνουμε ότι υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων.

Πίνακας 25: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap για τη μεταβλητή «Βαθμολογία μετά»

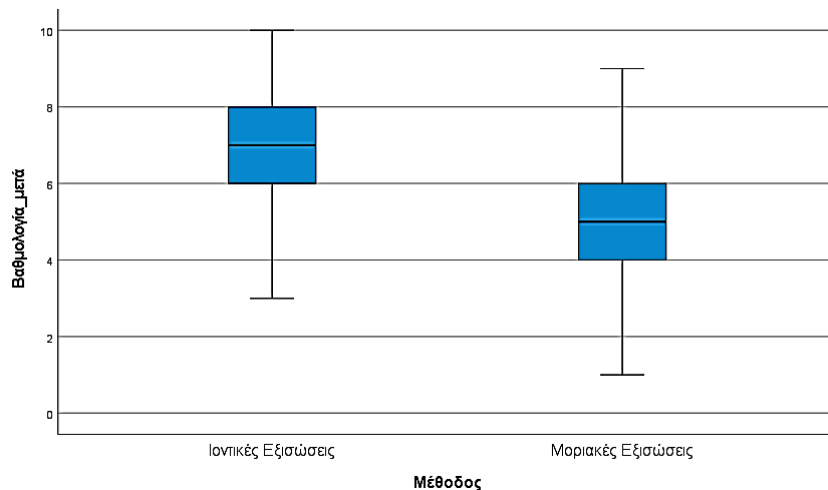
		Bootstrap ^a					
		Mean Difference	Bias	Std. Error	Sig. (2-tailed)	BCa 95% Confidence Interval	
						Lower	Upper
Βαθμολογία_μετά	Equal variances assumed	2,059	-,003	,290	<,001	1,508	2,576
	Equal variances not assumed	2,059	-,003	,290	<,001	1,508	2,576

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Στον πίνακα 25 παρατηρούμε ότι το διάστημα εμπιστοσύνης προσαρμοσμένο με τη μέθοδο bootstrap για την υπολογιζόμενη διαφορά μεταξύ των μέσων - η οποία με στρογγυλοποίηση ισούται με 2,06 - κυμαίνεται από 1,508 έως 2,576 και συνεπώς η διαφορά των μέσων στον πληθυσμό δεν θα μπορούσε να είναι ούτε αρνητική ούτε μηδενική.

Συμπέρασμα: Οι βαθμολογίες των μαθητών της Πειραματικής ομάδας (μέθοδος διδασκαλίας εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις), συγκέντρωσαν στο γνωστικό τεστ μετά τη διδασκαλία, έναν μέσο όρο πιο μεγάλο ($M=7,07$, $SE=0,19$), από εκείνον που συγκέντρωσαν οι μαθητές της ομάδας Ελέγχου (παραδοσιακή μέθοδος διδασκαλίας) ($M=5,01$, $SE=0,22$). Αυτή η διαφορά, 2,06, BCa 95% CI [1.508, 2,576], ήταν στατιστικά σημαντική $t(135)=7,07$, $p<0,001$.

Στο σχήμα 10 τέλος παρατίθενται τα δύο θηκογράμματα όπου παρατηρούμε τη διαφορά στα αποτελέσματα για τις δύο ομάδες



Σχήμα 10: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Βαθμολογία πριν» των δύο ομάδων

4.3.4 Σύγκριση ανάμεσα στη «Διαφορά μετά-πριν» της ομάδας «Ιοντικές εξισώσεις» και τη «Διαφορά μετά-πριν» της ομάδας «Μοριακές εξισώσεις».

Αν και ο έλεγχος που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση της επίδοσης των δύο ομάδων στο γνωστικό τεστ πριν την διδασκαλία (παράγραφος 4.3.2.2) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η πολύ μικρή διαφορά που είχαν στους μέσους δεν ήταν στατιστικά σημαντική, εν τούτοις θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει μια επιπλέον σύγκριση, αυτή της διαφοράς βαθμολογίας «τεστ μετά» μείον «τεστ πριν» ανάμεσα στις δύο ομάδες. Δηλαδή να συγκριθεί η βελτίωση της επίδοσης της μιας ομάδας σε σχέση με τη βελτίωση της άλλης, όπως ήταν και ο αρχικός σχεδιασμός ώστε να καλυφθεί η περίπτωση στην οποία οι ομάδες αποδεικνύονταν ότι δεν ήταν ισοδύναμες. Εξάλλου ο χειρισμός αυτός - το να βασίσουμε τα συμπεράσματά μας στη σύγκριση αυτή – έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι αντιμετωπίζει εν μέρει τα προβλήματα που προκύπτουν από το γεγονός ότι οι ομάδες δεν σχηματίστηκαν από τυχαία δειγματοληψία, όπως έχει ήδη συζητηθεί στο κεφάλαιο για την εγκυρότητα της έρευνας.

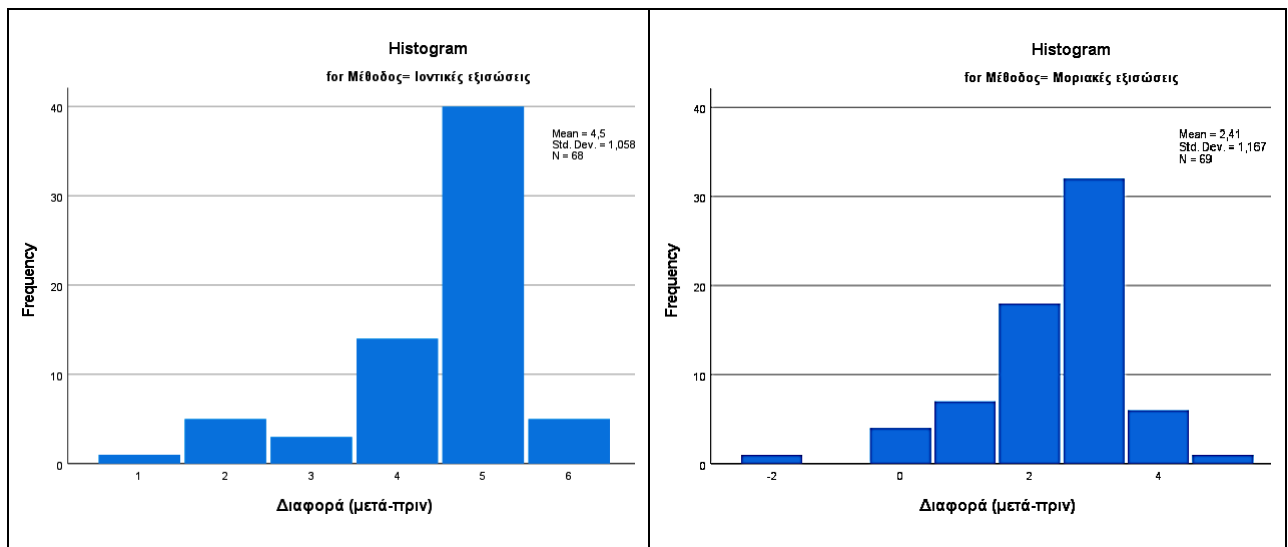
4.3.4.1 Έλεγχοι κανονικότητας

Σύμφωνα με τους ελέγχους Kolmogorov-Smirnov και Shapiro - Wilk (πίνακας 26) η κατανομή των παρατηρήσεων και για τις δύο ομάδες, της μεταβλητής «Διαφορά (μετά-πριν)», αποκλίνει σημαντικά από την κανονική κατανομή ($p < 0,001$).

Πίνακας 26: Έλεγχοι κανονικότητας για τη "Διαφορά (μετά-πριν)"

Μέθοδος		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Διαφορά (μετά-πριν)	Ιοντικές εξισώσεις	0,344	68	<0,000	0,764	68	<0,000
	Μοριακές εξισώσεις	0,260	69	<0,000	0,867	69	<0,000

Το ίδιο διαπιστώνουμε με τα ιστογράμματα (σχήμα 11)



Σχήμα 11: Ιστογράμματα για τη «Διαφορά (μετά-πριν)» των δύο ομάδων

4.3.4.2 T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα με τη μέθοδο Bootstrap

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας επιλέχθηκε το «T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων από ανεξάρτητα δείγματα (T-test Independent samples)» με τη μέθοδο Bootstrap, για τους λόγους που εξηγήθηκαν στην παράγραφο 4.3.2.2

Πίνακας 27: Περιγραφικά στατιστικά για τη μεταβλητή "Διαφορά (μετά -πριν)" των 2 ομάδων

Group Statistics							
Μέθοδος			Statistic	Bootstrap ^a			
				Bias	Std. Error	BCa 95% Confidence Interval	
		Lower	Upper				
Διαφορά (μετά-πριν)	Ιοντικές εξισώσεις	N	68				
		Mean	4,50	-0,01	0,13	4,25	4,72
		Std. Deviation	1,058	-0,013	0,129	0,797	1,269
		Std. Error Mean	0,128				
		Median	5,00				
	Μοριακές εξισώσεις	N	69				
		Mean	2,41	0,00	0,15	2,11	2,68
		Std. Deviation	1,167	-0,017	0,138	0,927	1,389
		Std. Error Mean	0,141				
		Median	3,00				

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Στον πίνακα 27 παρατηρούμε ότι, για τη «διαφορά (μετά -πριν)» το διάστημα εμπιστοσύνης μέσω της μεθόδου bootstrapping για τους μέσους κυμαίνεται από 4,25 έως 4,72 για την ομάδα που είχε διδαχθεί την πειραματική μέθοδο και από 2,11 έως 2,68 για

την ομάδα που είχε διδαχθεί την παραδοσιακή μέθοδο. Δεν υπάρχει καμμία κοινή περιοχή σε αυτά τα διαστήματα, κατά συνέπεια συμπεραίνουμε ότι οι δύο ομάδες είχαν σημαντική διαφορά στη βελτίωσή τους από τον προέλεγχο στον μετα-έλεγχο.

Πίνακας 28: Στατιστικά του T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα για τη μεταβλητή "Διαφορά (μετά-πριν)" των 2 ομάδων

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	Df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
Διαφορά (μετά-πριν)	Equal variances assumed	0,621	0,432	10,998	135	<,001	<,001	2,094	0,190	1,718	2,471
	Equal variances not assumed			11,006	134,071	<,001	<,001	2,094	0,190	1,718	2,471

Στον πίνακα 28 παρατηρούμε ότι η τιμή του ελέγχου Levene είναι στατιστικά μη σημαντική ($p= 0,432 > 0,05$) συνεπώς οι διακυμάνσεις είναι ίσες. Όσον αφορά στο T-test για τον έλεγχο της διαφοράς δύο μέσων, παρατηρούμε ότι η τιμή του p για δίπλευρο έλεγχο σημαντικότητας είναι μικρότερη από 0,001 οπότε συμπεραίνουμε ότι υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα της μεθόδου Bootstrap για τη μεταβλητή «Διαφορά μετά-πριν»

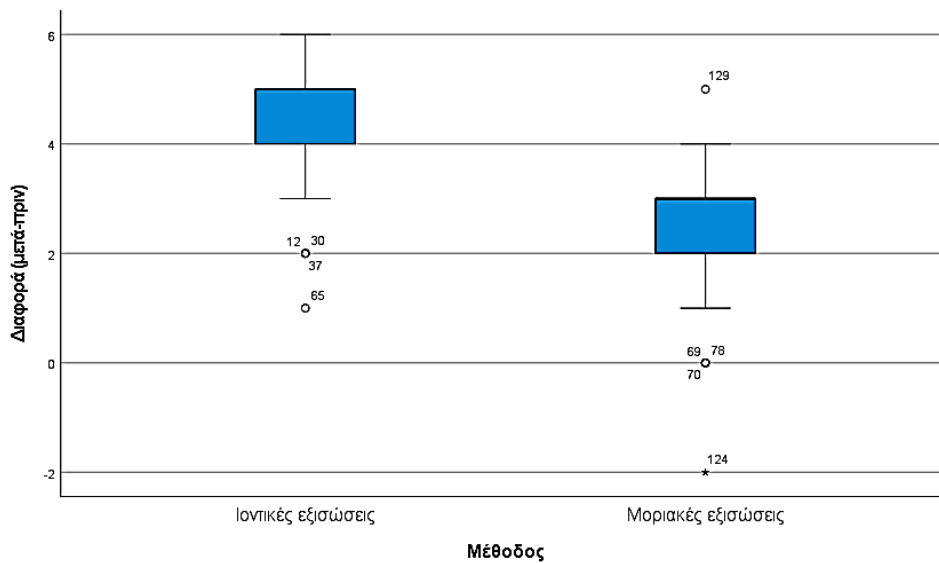
Bootstrap for Independent Samples Test								
		Mean Difference	Bootstrap ^a					
			Bias	Std. Error	Sig. (2-tailed)	BCa 95% Confidence Interval		
						Lower	Upper	
Διαφορά (μετά-πριν)	Equal variances assumed	2,094	-0,002	0,201	<0,001	1,705	2,490	
	Equal variances not assumed	2,094	-0,002	0,201	<0,001	1,705	2,490	

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Στον πίνακα 29 παρατηρούμε ότι το διάστημα εμπιστοσύνης προσαρμοσμένο με τη μέθοδο bootstrap για την υπολογιζόμενη διαφορά μεταξύ των μέσων - η οποία ισούται με 2,09 - κυμαίνεται από 1,705 έως 2,490 και κατά συνέπεια η διαφορά των μέσων στον πληθυσμό δεν θα μπορούσε να είναι ούτε αρνητική ούτε μηδενική.

Συμπέρασμα: Η βελτίωση στη βαθμολογία των μαθητών της Πειραματικής ομάδας (διαφορά μετά-πριν), συγκέντρωσε έναν μέσο όρο πιο μεγάλο ($M=4,50$, $SE=0,13$), από εκείνον που συγκέντρωσε η βελτίωση στη βαθμολογία των μαθητών της ομάδας Ελέγχου

(διαφορά μετά-πριν) ($M=2,41$, $SE=0,14$). Αυτή η διαφορά, $2,09$, BCa 95% CI [1.705, 2,490], ήταν στατιστικά σημαντική $t(135)= 11,00$, $p<0,001$.



Σχήμα 12: Θηκογράμματα για τη μεταβλητή «Διαφορά μετά-πριν» των δύο ομάδων

Στο σχήμα 12 παρατίθενται τα δύο θηκογράμματα όπου παρατηρούμε τη διαφορά στα αποτελέσματα για τη βελτίωση των 2 ομάδων

4.3.4.3 Επιπλέον έλεγχος

Στην παράγραφο 4.3.4.1 διαπιστώσαμε ότι η κατανομή των παρατηρήσεων της μεταβλητής «Διαφορά (μετά-πριν)» και για τις δύο ομάδες, αποκλίνει σημαντικά από την κανονική κατανομή και γι' αυτό εφαρμόσαμε τη μέθοδο bootstrap κατά τον έλεγχο T-τεστ ανεξάρτητα δείγματα. Παρ' όλα αυτά, για την επιβεβαίωση των συμπερασμάτων μας, θεωρήσαμε σκόπιμο να εφαρμόσουμε και τον αντίστοιχο μη παραμετρικό έλεγχο που ονομάζεται Mann-Whitney⁷⁰⁻⁷²

Πίνακας 30: Αποτελέσματα του Mann-Whitney U test

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary			
Total N	137	Standard Error	226,223
Mann-Whitney U	445,500	Standardized Test Statistic	-8,401
Wilcoxon W	2860,500	Asymptotic Sig.(2-sided test)	0,000
Test Statistic	445,500		

Τα αποτελέσματα του ελέγχου έδειξαν ότι η βελτίωση των μαθητών της Πειραματικής ομάδας που μετρήθηκε μέσω της μεταβλητής «Διαφορά (μετά-πριν)» ($Mdn=5$) ήταν στατιστικά σημαντικότερη από εκείνη των μαθητών της ομάδας Ελέγχου ($Mdn=3$), $U=445,50$, $z = -8,40$, $p<0,001$. Συνεπώς και με τον έλεγχο αυτό καταλήξαμε στο ίδιο συμπέρασμα.

4.4 Συμπεράσματα από την ανάλυση αποτελεσμάτων στις επιμέρους ερωτήσεις. Ανάδειξη παρανοήσεων.


Για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι οι μαθητές και των δύο ομάδων, όταν απαντούν στο γνωστικό «τεστ πριν» έχουν διδαχθεί τη θεωρία των δεσμών (κεφάλαιο 2 του σχολικού βιβλίου⁴⁰ με τον ίδιο τρόπο διδασκαλίας. Όταν όμως απαντούν στο γνωστικό «τεστ μετά» έχουν ολοκληρώσει τις χημικές αντιδράσεις (εξουδετέρωσης και διπλής αντικατάστασης) με διαφορετικό τρόπο διδασκαλίας κάθε ομάδα. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας όταν αναλύουμε τα αποτελέσματα του «τεστ πριν» ή του «τεστ μετά».

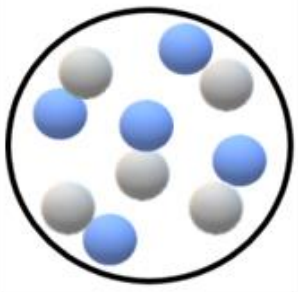
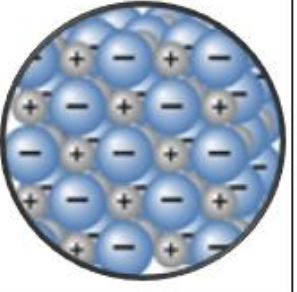
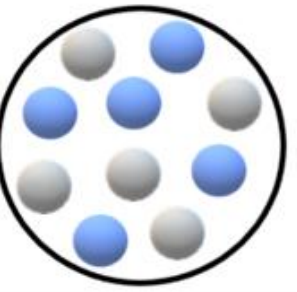
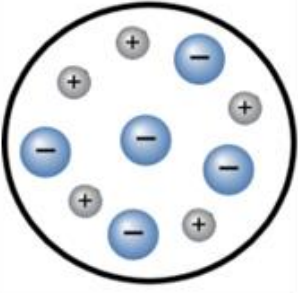
Το γνωστικό τεστ (βλέπε Παράρτημα), περιελάμβανε 10 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Για καθεμία από αυτές οι μαθητές κλήθηκαν να επιλέξουν από τις τέσσερις προτεινόμενες απαντήσεις αυτήν που θεωρούσαν σωστή. Κάθε σωστή απάντηση βαθμολογήθηκε με ένα βαθμό και κάθε λανθασμένη με μηδέν, ως εκ τούτου η κλίμακα μέτρησης διαμορφώθηκε από το 0 έως το 10. Ακολουθεί στατιστική ανάλυση των ερωτήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

4.4.1 Ερώτηση 1

1) Στην δεξιά εικόνα φαίνεται ένα κουτάλι με στερεό βρωμιούχο κάλιο (KBr) που είναι άλας. Ποια από τις παρακάτω αναπαραστάσεις απεικονίζει πληρέστερα την ουσία στο κουτάλι; Δίνονται οι συμβολισμοί:

● άτομο καλίου, ●⁺ ιόν καλίου, ● άτομο βρωμίου, ●⁻ ιόν βρωμίου



			
α	β	γ	δ

Στην ερώτηση 1 δίνεται φωτογραφία μιας ποσότητας της χημικής ένωσης (μακροσκοπική αναπαράσταση) στην οποία φαίνεται ότι είναι στερεή υπό μορφή κόκκων. Δίνεται επίσης ο χημικός τύπος (συμβολική αναπαράσταση) ώστε να γνωρίζουν οι μαθητές ότι αποτελείται από δύο χημικά στοιχεία καθώς και η πληροφορία ότι πρόκειται για άλας. Ζητείται η υπομικροσκοπική της αναπαράσταση.

Πρόκειται για μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής που επιδέχεται μόνο μία σωστή απάντηση, όπως όλες εξάλλου οι ερωτήσεις αυτού του γνωστικού τεστ. Σαν στόχο έχει να ελέγξει την ικανότητα του μαθητή να περάσει από το συμβολικό και το μακροσκοπικό επίπεδο στο υπομικροσκοπικό, ενώ θα πρέπει προηγουμένως να πάρει υπόψη του ότι:

α) τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις, συνεπώς η σωστή αναπαράσταση πρέπει να αποτελείται από δύο είδη σφαιρών που να απεικονίζουν τα δύο διαφορετικά είδη ιόντων, τα ιόντα K^+ και Br^- . Σημειωτέον ο χημικός τύπος δίνεται ώστε να αναγνωρίζει ο μαθητής ότι θα έχουμε μόνο δύο είδη σφαιρών, αφού έχουμε μόνο δύο χημικά στοιχεία.

β) στη στερεά κατάσταση η διάταξη των σωματιδίων είναι πολύ πυκνή και με μεγάλη τάξη. Κατά συνέπεια στον ιοντικό κρύσταλλο τα κατιόντα του καλίου και τα ανιόντα του βρωμίου θα έπρεπε να ακολουθούν αυτή τη διάταξη.

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 1.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 31, τη σωστή απάντηση στο τεστ πριν τη διδακτική παρέμβαση επέλεξε το 54,4% των μαθητών της πειραματικής ομάδας (37 σε σύνολο 68 μαθητών) και το 52,2% των μαθητών της ομάδας ελέγχου (36 στους 69). Οι μαθητές και των δύο ομάδων, τη στιγμή που απαντούν στην ερώτηση του «Τέστ πριν» έχουν ήδη διδαχθεί στο κεφάλαιο «Περιοδικός Πίνακας – Δεσμοί» ποιες ενώσεις είναι μοριακές και ποιες ιοντικές και έχουν εξασκηθεί σε ίδιο βαθμό στις αναπαραστάσεις στα τρία επίπεδα (βλέπε παράγραφο 3.5.1). Το γεγονός των σχεδόν ίδιων ποσοστών της σωστής απάντησης επιβεβαιώνει την ισοδυναμία των ομάδων πριν τη διδακτική παρέμβαση.

Πίνακας 31: Σχετική συχνότητα απαντήσεων για την ερώτηση 1.

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
1α	19,1	5,9	-13,2	23,2	8,7	-14,5
1β*	54,4	83,8	29,4	52,2	72,5	20,3
1γ	8,8	2,9	-5,9	11,6	10,1	-1,5
1δ	17,6	7,4	-10,2	13,0	8,7	-4,3

Τη σωστή απάντηση στο τεστ μετά τη διδακτική παρέμβαση επέλεξε το 83,8% των μαθητών της πειραματικής ομάδας (57 σε σύνολο 68 μαθητών) και το 72,5% των μαθητών της ομάδας ελέγχου (50 στους 69). Εχουμε δηλαδή μια βελτίωση κατά 29,4% για την ομάδα που διδάχθηκε με την προτεινόμενη μέθοδο (διδασκαλία εμπλουτισμένη

με ιοντικές εξισώσεις και πολλαπλές χημικές αναπαραστάσεις) ενώ η βελτίωση της ομάδας που διδάχτηκε με την παραδοσιακή μέθοδο (μοριακές εξισώσεις) είναι 20,3%.

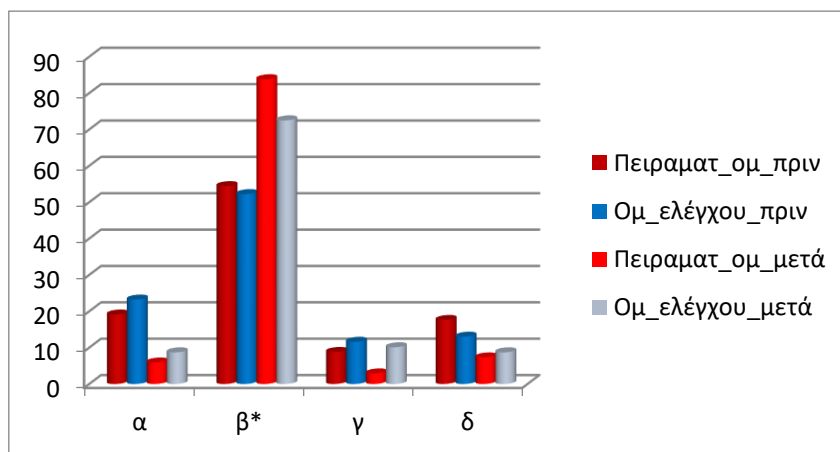
Την απάντηση α επιλέγουν μετά τη διδασκαλία το 5,9% των μαθητών της πειραματικής ομάδας και το 8,7% της ομάδας ελέγχου. Οι μαθητές αυτοί φαίνεται ότι διατηρούν την εναλλακτική άποψη ότι τα δομικά σωματίδια ενός άλατος είναι μόρια που αποτελούνται από άτομα. Έτσι επιλέγουν αυτή την αναπαράσταση που απεικονίζει κάθε άτομο καλίου να είναι ενωμένο με ένα άτομο βρωμίου σχηματίζοντας μόρια KBr. Μάλιστα η διάταξη αυτή είναι αρκετά αραιή, πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με τη πληροφορία που δίνεται τόσο στο κείμενο όσο και στη μακροσκοπική αναπαράσταση (φωτογραφία), ότι η χημική ένωση είναι στερεή. Είτε λοιπόν οι μαθητές αγνόησαν την πληροφορία αυτή, είτε δεν γνωρίζουν ότι τα σωματίδια ενός στερεού απεικονίζονται με πυκνή διάταξη.

Την απάντηση γ επιλέγουν μετά τη διδασκαλία το 2,9% των μαθητών της πειραματικής ομάδας και το 10,1% της ομάδας ελέγχου. Η επιλογή αυτή συγκεντρώνει τα μικρότερα ποσοστά απαντήσεων ανάμεσα στους μαθητές της πειραματικής ομάδας. Οι μαθητές και των δύο ομάδων που την επιλέγουν φαίνεται ότι, και μετά τη διδασκαλία, διατηρούν τις αντίστοιχες παρανοήσεις, μη λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω: i) Τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις, συνεπώς τα σωματίδια δεν είναι άτομα αλλά ιόντα, ii) Ακόμα κι αν δεχτούμε ότι πρόκειται για μοριακή ένωση δεν θα έπρεπε τα άτομα να είναι ανεξάρτητα αλλά ενωμένα ανά δύο. Εξάλλου δίνεται ο χημικός τύπος (συμβολική αναπαράσταση) στον οποίο φαίνεται ότι πρόκειται για χημική ένωση δύο στοιχείων, iii) τα σωματίδια ενός στερεού απεικονίζονται με πυκνή διάταξη.

Την απάντηση δ επιλέγουν μετά τη διδασκαλία το 7,4% των μαθητών της πειραματικής ομάδας και το 8,7% της ομάδας ελέγχου. Οι μαθητές αυτοί γνωρίζουν ότι το άλας είναι μια ιοντική ένωση και κατά συνέπεια τα δομικά σωματίδια είναι ιόντα, αλλά αγνοούν ή παραβλέπουν το γεγονός ότι η διάταξη στον ιόντων στον ιοντικό κρύσταλλο είναι πυκνή και με μεγάλη τάξη.

Συνοψίζοντας, διαπιστώνουμε ότι μεγάλος αριθμός μαθητών (σε σύγκριση και με τις άλλες ερωτήσεις) απάντησε σωστά μετά την διδασκαλία αλλά και πριν από αυτή. Το γεγονός ίσως ερμηνεύεται ότι για τους μαθητές, τα άλατα είναι η ομάδα χημικών ενώσεων που είναι πιο γνωστό σε σχέση με τις άλλες ενώσεις, ότι είναι ιοντική εξαιτίας του NaCl που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα κατά τη διδασκαλία του ιοντικού δεσμού. Το χλωριούχο νάτριο το λέμε συχνά «αλάτι» και έτσι οι μαθητές κάνουν τη σύνδεση με τα άλατα (ως κατηγορία). Παρατηρούμε επίσης ότι οι διαφορές στις επιλογές των δύο ομάδων είναι υπαρκτές, όχι όμως πολύ μεγάλες, όπως αυτές που παρατηρήθηκαν σε

άλλες ερωτήσεις. Οπωσδήποτε υπάρχει μια αξιοσημείωτη διαφορά στη βελτίωση των ποσοστών της σωστής απάντησης από μέρους των μαθητών της Πειραματικής ομάδας έναντι αυτών της ομάδας Ελέγχου. Η έλλειψη μεγάλων διαφορών ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η ερώτηση δεν αφορά τη μορφή των σωματιδίων της ένωσης κατά τη διάλυσή της στο νερό, ή ότι δεν έχει μεσολαβήσει κάποια χημική αντίδραση.



Σχήμα 13: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 1

4.4.2 Ερώτηση 2

2) Να επιλέξετε τη σωστή πρόταση:
 α) Τα οξέα είναι ιοντικές ενώσεις ενώ τα υδροξείδια των μετάλλων και τα άλατα είναι ομοιοπολικές.
 β) Τα υδροξείδια των μετάλλων και τα άλατα είναι ιοντικές, ενώ τα οξέα είναι ομοιοπολικές.
 γ) Τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις ενώ τα οξέα και τα υδροξείδια των μετάλλων είναι ομοιοπολικές.
 δ) Τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις.

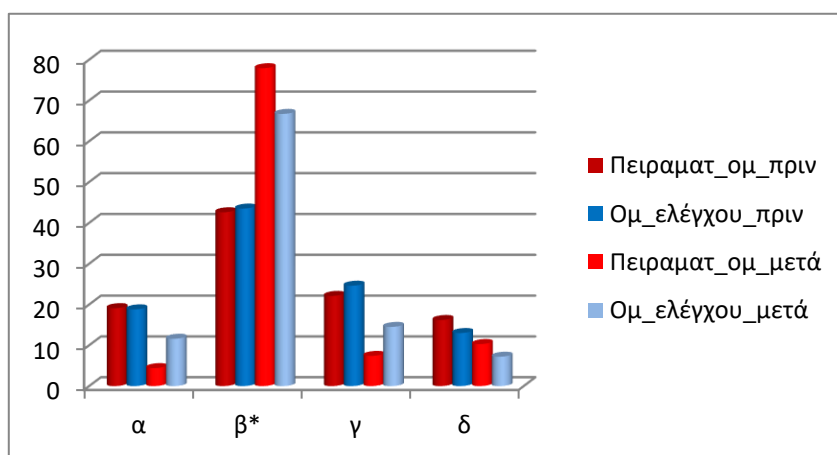
Στόχος της ερώτησης είναι να ελέγξει αν ο μαθητής μπορεί να ταξινομήσει σε ιοντικές και ομοιοπολικές ενώσεις, τα οξέα, τις βάσεις και τα άλατα, τις ενώσεις δηλαδή που λαμβάνουν μέρος στις υπό μελέτη αντιδράσεις διπλής αντικατάστασης.

Πίνακας 32: Σχετική συχνότητα απαντήσεων για την ερώτηση 2.

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
2α	19,1	4,4	-14,7	18,8	11,6	-7,2
2β*	42,6	77,9	35,3	43,5	66,7	23,2
2γ	22,1	7,4	-14,7	24,6	14,5	-10,1
2δ	16,2	10,3	-5,9	13,0	7,2	-5,8

Οι μαθητές και των δύο ομάδων, τη στιγμή που απαντούν στην ερώτηση του «Τέστ πριν» έχουν ήδη διδαχθεί ποιες ενώσεις είναι μοριακές και ποιες ιοντικές όταν εξετάζονται τα «Χαρακτηριστικά των ιοντικών ενώσεων» καθώς και τα «Χαρακτηριστικά των ομοιοπολικών ενώσεων» στο κεφάλαιο των δεσμών.

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 2. Το γεγονός των σχεδόν ίδιων ποσοστών της σωστής απάντησης πριν τη διδακτική παρέμβαση επιβεβαιώνει την ισοδυναμία των ομάδων. Η ερώτηση όμως συγκεντρώνει υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων για τις δύο ομάδες και μετά τη διδασκαλία (σε σύγκριση με τις άλλες ερωτήσεις). Μια πιθανή αιτία είναι ότι στην ερώτηση δεν υπάρχει σύνδεση με υπομικροσκοπική αναπαράσταση και ότι για τον μαθητή μπορεί να αποτελεί μια ερώτηση απλής ανάκλησης μιας πρόσφατης γνώσης. Η βελτίωση της ομάδας ελέγχου μπορεί να αποδοθεί ότι μετά το «τεστ πριν» οι μαθητές διδάχτηκαν, με τον τρόπο που υποδεικνύει το σχολικό βιβλίο, τη θεωρία της ηλεκτρολυτικής διάστασης και έτσι έγινε υπενθύμιση του εξεταζόμενου θέματος. Όμως η πειραματική ομάδα είχε μια σημαντικότερη βελτίωση και αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική μέθοδο που ακολουθήθηκε. Το παρακάτω σχήμα 14 συνοψίζει την εικόνα των απαντήσεων σε ποσοστά.

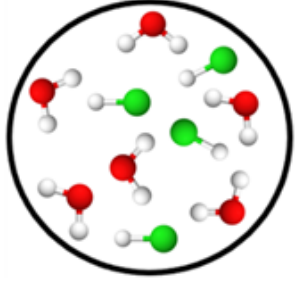
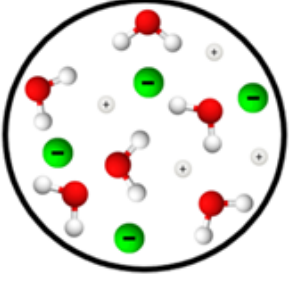
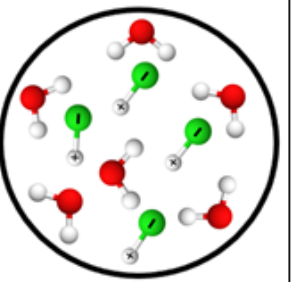
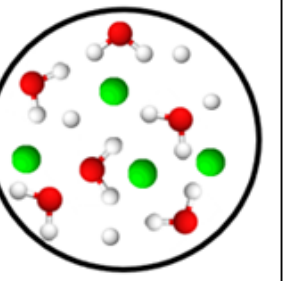


Σχήμα 14: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 2.

4.4.3 Ερώτηση 3

3) Ποια από τις εικόνες απεικονίζει καλύτερα το υδατικό διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος ($\text{HCl}_{(aq)}$);

Δίνονται οι συμβολισμοί: ● άτομο χλωρίου, ●⁻ ιόν χλωρίου, ●⁺ ιόν υδρογόνου, ●₂ μόριο νερού, ● άτομο υδρογόνου, ●₂ μόριο οξυγόνου. Το HCl είναι ισχυρό οξύ

			
α	β	γ	δ

Στην ερώτηση 3 δίνεται η πληροφορία ότι πρόκειται για το υδατικό διάλυμα ενός ισχυρού οξέος και ζητείται η υπομικροσκοπική αναπαράστασή του. **Στόχος** της ερώτησης είναι ο έλεγχος της ικανότητας του μαθητή να αναγνωρίσει ότι παρότι τα οξέα είναι ομοιοπολικές ενώσεις (αυτό εξετάστηκε στην ερώτηση 2), μέσα στο νερό ιοντίζονται και να επιλέξει την κατάλληλη αντιστοίχιση στο υπομικροσκοπικό επίπεδο. Το σύμβολο (aq) δεν ελέγχεται αφού και οι τέσσερις επιλογές περιλαμβάνουν μόρια νερού.

Πρέπει να επισημανθεί εδώ ότι οι μαθητές στο επίπεδο αυτό δεν γνωρίζουν την ύπαρξη των οξωνίων ούτε και την εφυδάτωση των ιόντων, θέματα που διδάσκονται στην Γ' λυκείου.

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 3. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 33, τη σωστή απάντηση στο τεστ πριν τη διδακτική παρέμβαση δίνουν σχετικά μικρά ποσοστά μαθητών και των δύο ομάδων ενώ μεγάλα ποσοστά (41,2% και 36,2%) συγκεντρώνει η επιλογή α σύμφωνα με την οποία το οξύ βρίσκεται με τη μορφή μορίων μέσα στο νερό. Κατά συνέπεια είναι πολύ διαδεδομένη η παρανόηση ότι τα οξέα μέσα στο νερό (εξακολουθούν να) είναι μόρια. Η σημαντική βελτίωση των μαθητών της ομάδας ελέγχου μπορεί να οφείλεται: i) στο γεγονός ότι οι μαθητές συναντούν στη συνέχεια τα υδατικά διαλύματα των οξέων στην «Θεωρία της ηλεκτρολυτικής διάστασης», ii) στο ότι κατά τη παραδοσιακή διδασκαλία του υποκεφαλαίου της «Εξουδετέρωσης» αναφέρεται ότι: «...Κατά την αντίδραση αυτή τα υδρογονοκατιόντα (H^+) που προέρχονται από το οξύ ενώνονται με τα ανιόντα υδροξειδίου (OH^-) που προέρχονται από τη βάση, και δίνουν νερό: $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} \dots\dots$ » και iii) στην

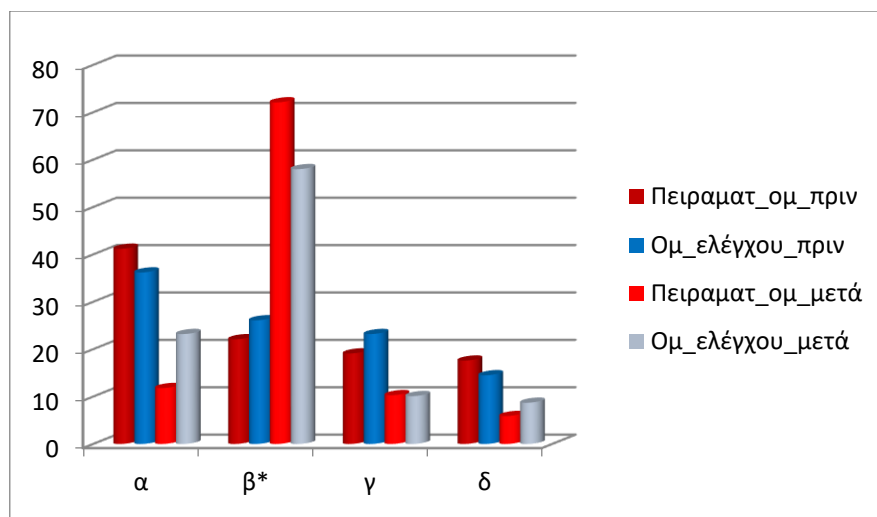
υπενθύμιση της έννοιας του pH κατά τη διδασκαλία της παραγράφου «Οξέα , βάσεις, οξείδια, άλατα, εξουδετέρωση και... καθημερινή ζωή».

Πίνακας 33: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 3.

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
3α	41,2	11,8	-29,4	36,2	23,2	-13,0
3β*	22,1	72,1	50,0	26,1	58,0	31,9
3γ	19,1	10,3	-8,8	23,2	10,1	-13,1
3δ	17,6	5,9	-11,7	14,5	8,7	-5,8

Εντυπωσιακή όμως είναι η βελτίωση των αποτελεσμάτων της πειραματικής ομάδας μετά την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση, όπως φαίνεται στον πίνακα 33, ενισχύοντας την κρίση περί αποτελεσματικής μεθόδου. Η πολύ μεγάλη διαφορά των σωστών απαντήσεων μεταξύ pre και post test μπορεί να αποδοθεί i) στο γεγονός της θετικής επίδρασης που μπορεί να είχε η 1^η ώρα της διδακτικής παρέμβασης στην πειραματική ομάδα κατά την οποία εξετάζεται η σωματιδιακή μορφή των υδατικών διαλυμάτων των οξέων, βάσεων και αλάτων σε συνδυασμό με υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις, ii) η εξάσκηση στη σύνδεση του συμβολικού επιπέδου των χημικών εξισώσεων των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης με το υπομικροσκοπικό επίπεδο μέσω των αναπαραστάσεων όπως συνέβη κατά τη 4^η και 5^η ώρα της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης.

Μία άλλη παρανόηση που προκύπτει από την επιλογή της επιλογής γ) είναι ότι το HCl μέσα στο νερό, βρίσκεται μεν υπο μορφή ιόντων, τα ιόντα όμως αυτά είναι ενωμένα ανά δύο, κάθε H⁺ είναι ενωμένο με ένα Cl⁻. Οι μαθητές αυτοί προφανώς έχουν παρερμηνεύσει το φαινόμενο του ιοντισμού και παρασύρονται από τον χημικό τύπο του HCl όπου η αναλογία των σωματιδίων των δύο στοιχείων είναι 1:1. Τέλος η απάντηση που συγκεντρώνει τα μικρότερα ποσοστά, τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία και για τις δύο ομάδες είναι η επιλογή δ φανερώνοντας ότι ένα ποσοστό μαθητών πιστεύει ότι στο υδατικό διάλυμα του υδροχλωρίου τα σωματίδια που υπάρχουν είναι άτομα υδρογόνου και χλωρίου ανάμεσα στα μόρια νερού.



Σχήμα 15: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 3.

4.4.4 Ερώτηση 4

4) Να επιλέξετε την σωστή πρόταση: Όταν το νιτρικό κάλιο (KNO_3), που είναι ένα ευδιάλυτο άλας, διαλύεται μέσα στο νερό, τότε μέσα σε αυτό βρίσκεται με τη μορφή
α) ατόμων καλίου, αζώτου και οξυγόνου που κινούνται σε αυτό.
β) μορίων KNO_3 που κινούνται μέσα στο νερό.
γ) ιόντων K^+ και NO_3^- που δημιουργήθηκαν από τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τα άτομα K στην πολυατομική ομάδα NO_3 όταν τα μόρια του αλατιού διαλύθηκαν στο νερό.
δ) ιόντων K^+ και NO_3^- που απομακρύνθηκαν από τον ιοντικό κρύσταλλο όταν το αλάτι διαλύθηκε στο νερό

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστωθεί αν ο μαθητής αναγνωρίζει τη σωματιδιακή μορφή που έχει, στο υδατικό του διάλυμα, ένα ευδιάλυτο άλας του οποίου δίνεται το όνομα και ο χημικός τύπος και του οποίου το ανιόν είναι πολυατομικό.

Η ερώτηση αυτή έχει αρκετά κοινά στοιχεία με την ερώτηση 5, αλλά και διαφορές. Μια από αυτές είναι ότι εδώ το άλας έχει το πολυατομικό ανιόν, οπότε το θέμα γίνεται πιο πολύπλοκο για τους μαθητές.

Πίνακας 34: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 4

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
4α	10,3	2,9	-7,4	10,1	4,3	-5,8
4β	22,1	7,4	-14,7	18,8	8,7	-10,1
4γ	44,1	13,2	-30,9	46,4	24,6	-21,8
4δ*	23,5	76,5	53,0	24,6	62,3	37,7

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 4.

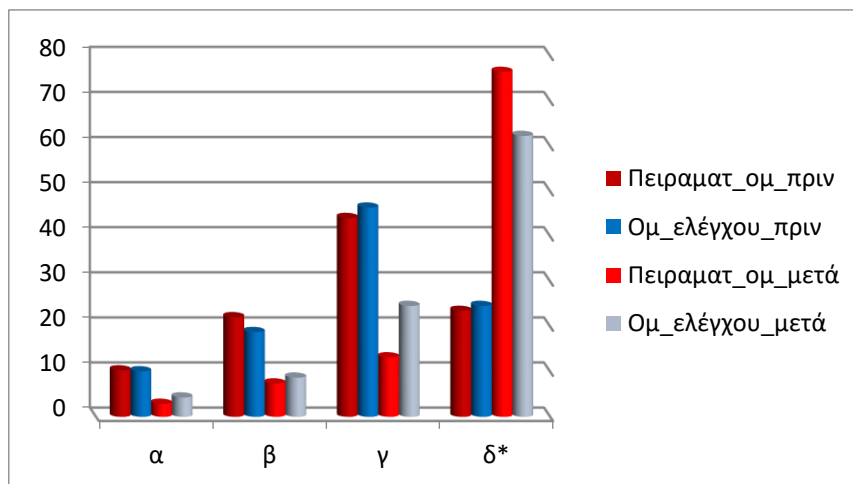
Όσον αφορά την επιλογή της σωστής απάντησης 4δ, μεγάλη βελτίωση έχουν οι μαθητές της ομάδας ελέγχου στο τεστ μετά τη διδασκαλία συγκρινόμενοι με τα αποτελέσματα που είχαν πριν από αυτή. Αυτή η άνοδος ίσως οφείλεται στο ότι ανάμεσα στα δύο τεστ μεσολαβεί η θεωρία της ηλεκτρολυτικής διάστασης κατά την οποία οι μαθητές μαθαίνουν – έστω και εν τάχει – ότι όταν ο ηλεκτρολύτης (οξύ, βάση, άλας) διαλυθεί στο νερό, αυτός διίσταται σε ιόντα. Άλλος επίσης λόγος υποθέτουμε ότι είναι ότι κατά τη διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης με μοριακές εξισώσεις, οι μαθητές μαθαίνουν, κατά την αναγραφή των προϊόντων, να μεταφέρουν όλο το τμήμα που έχει αρνητικό αριθμό οξείδωσης, αποκτώντας έτσι την άποψη ότι πρόκειται για πολυατομικό ιόν ή έστω για μια πολυατομική ομάδα που δεν «σπάει».

Οι μαθητές όμως της πειραματικής μεθόδου παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση, η οποία μπορεί να αποδοθεί τόσο στο περιεχόμενο κυρίως του 1^{ου} μαθήματος της πειραματικής μεθόδου όσο και στη χρήση των αναπαραστάσεων, αλλά και των ιοντικών εξισώσεων που φανερώνουν τη φύση των σωματιδίων των ενώσεων αυτών στα υδατικά τους διαλύματα.

Οι μαθητές που επιλέγουν την απάντηση 4α πιστεύουν ότι τα σωματίδια μέσα στο νερό είναι άτομα και επίσης ότι το πολυατομικό ανιόν έχει «σπάσει» στα άτομα των στοιχείων από τα οποία αποτελείται. Η αρχική μας εκτίμηση ήταν ότι το ποσοστό αυτών των μαθητών θα είναι σημαντικό, όμως η έρευνα έδειξε ότι είναι μικρό και γίνεται ακόμα μικρότερο μετά τη διδασκαλία είτε με τη μία μέθοδο, είτε με την άλλη. Μια πιθανή εξήγηση για μεν την παραδοσιακή μέθοδο είναι ότι κατά την γραφή των μοριακών εξισώσεων οι μαθητές μαθαίνουν να μεταφέρουν ολόκληρο το τμήμα της ένωσης με τον αρνητικό αριθμό οξείδωσης χωρίς να το «σπάνε» όταν αυτό είναι πολυατομικό, στη δε προτεινόμενη μέθοδο συμβαίνει το ίδιο κατά το πέρασμα στην ιοντική εξίσωση και κατόπιν στην καθαρά ιοντική. Επιπλέον στην προτεινόμενη μέθοδο η χρήση υπομικροσκοπικών αναπαραστάσεων βοηθά τους μαθητές να διαπιστώσουν οπτικά τη δομή των πολυατομικών ιόντων.

Τα αξιοπρόσεκτα ποσοστά της απάντησης 4β πριν τη διδασκαλία επιβεβαιώνουν την ύπαρξη της λανθασμένης αντίληψης αρκετών μαθητών ότι όλες οι ενώσεις είναι μοριακές. Υπάρχει ένα υψηλό ποσοστό μαθητών και στις δύο ομάδες που επιλέγει την απάντηση 4γ) στο τεστ πριν την διδασκαλία. Αυτό σημαίνει ότι είναι ευρέως διαδεδομένη η παρανόηση ότι η ένωση είναι μοριακή και δημιουργούνται τα ιόντα όταν αυτή διαλυθεί

στο νερό (με τον τρόπο που περιγράφει η απάντηση). Ισως η επιλογή αυτή να μπορεί να ερμηνευτεί εν μέρει, ότι από τη μια υπάρχει η πεποίθηση ότι όλες οι ενώσεις είναι μόρια, αλλά από την άλλη οι μαθητές αυτοί γνωρίζουν ότι τα άλατα μέσα στο νερό είναι ηλεκτρολύτες, άρα βρίσκονται με μορφή ιόντων.



Σχήμα 16: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 4

4.4.5 Ερώτηση 5

5) Ποιο από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει τα σωματίδια που υπάρχουν στο $\text{NaCl}_{(aq)}$ (αλατόνερο)

Δίνονται οι συμβολισμοί: ● άτομο χλωρίου, ⊖ ιόν χλωρίου, ● άτομο υδρογόνου, ● άτομο οξυγόνου, ⊕ ιόν νατρίου, ● άτομο νατρίου, ⊕ ιόν νατρίου, ● μόριο νερού

6)

<p>α</p>	<p>β</p>	<p>γ</p>	<p>δ</p>
----------	----------	----------	----------

Στόχος της ερώτησης αυτής είναι να διαπιστωθεί η ικανότητα του μαθητή, στο πέρασμα από τη συμβολική αναπαράσταση (δίνεται ο χημικός τύπος και η φυσική κατάσταση), στην υπομικροσκοπική για το υδατικό διάλυμα του χλωριούχου νατρίου, του πιο γνωστού στους μαθητές άλατος. Δεν ελέγχεται το aq αφού διευκρινίζεται ότι πρόκειται για αλατόνερο.

Πίνακας 35: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 5

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
5α	16,2	2,9	-13,3	11,6	7,2	-4,4
5β*	23,5	77,9	54,4	26,1	55,1	29,0
5γ	32,4	5,9	-26,5	31,9	8,7	-23,2
5δ	27,9	13,2	-14,7	30,4	29,0	-1,4

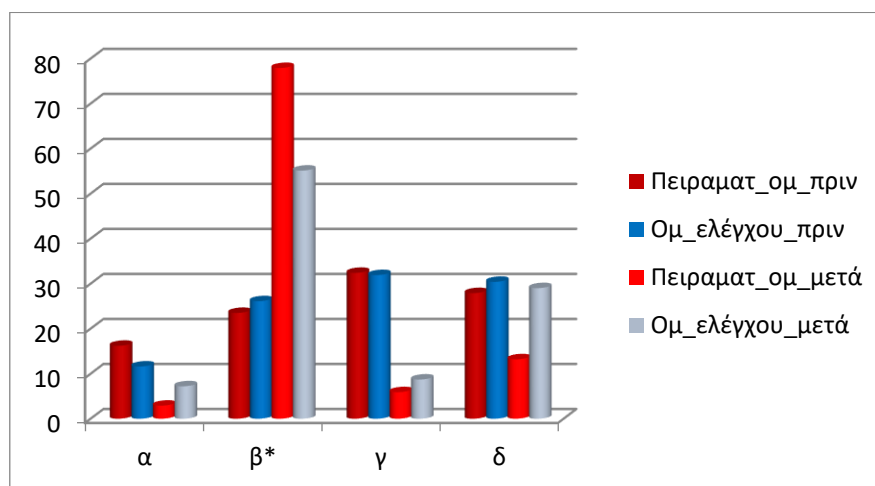
Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 5. Η σωστή απάντηση 5β στο τεστ πριν τη διδασκαλία συγκέντρωνε ένα μέτριο ποσοστό απαντήσεων και στις δυο ομάδες επιβεβαιώνοντας ότι η αντίληψη πως όλες οι ενώσεις αποτελούνται από άτομα που σχηματίζουν μόρια (απαντήσεις 5α και 5γ είναι ευρέως διαδεδομένη. Όπως επίσης πως διατηρούν αυτή τη μορφή και στα υδατικά τους διαλύματα. Παρατηρείται όμως μια σημαντική αύξηση των ποσοστών της σωστής απάντησης στο τεστ μετά τη διδασκαλία, στα αποτελέσματα και των δυο ομάδων. Για τους μαθητές της ομάδας ελέγχου (μοριακές εξισώσεις) αυτό μπορεί να οφείλεται: στο γεγονός ότι οι μαθητές αφού ερωτηθούν στο «τεστ πριν», συναντούν στα παρακάτω κεφάλαια και ειδικά στη «Θεωρία της ηλεκτρολυτικής διάστασης», τα υδατικά διαλύματα των αλάτων και εκεί αναθεωρούν την άποψή τους.

Πολύ μεγάλη όμως είναι η βελτίωση των αποτελεσμάτων της πειραματικής ομάδας (ιοντικές εξισώσεις) στο τεστ μετά, όπως φαίνεται στον πίνακα 20. Η πολύ μεγάλη διαφορά των σωστών απαντήσεων μεταξύ pre και post test μπορεί να αποδοθεί i) στο γεγονός της θετικής επίδρασης που μπορεί να είχε το αρχικό μέρος της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης κατά το οποίο εξετάζεται η σωματιδιακή μορφή των υδατικών διαλυμάτων των οξέων, βάσεων και αλάτων σε συνδυασμό με υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις, ii) η εξάσκηση στη σύνδεση του συμβολικού επιπέδου των χημικών εξισώσεων των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης με το υπομικροσκοπικό επίπεδο μέσω των αναπαραστάσεων όπως συνέβη κατά τη 4^η και 5^η ώρα της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης. Σε κάθε περίπτωση η ερώτηση αυτή είναι 3^η στη σειρά σωστών απαντήσεων στο post test για την πειραματική ομάδα.

Η επιλογή της απάντησης 5α, σύμφωνα με την οποία το NaCl διαλυμένο σε νερό, βρίσκεται με τη μορφή ατόμων νατρίου και χλωρίου, συγκέντρωσε τα μικρότερα ποσοστά

σε σχέση με τις άλλες επιλογές. Το ίδιο είχε παρατηρηθεί και στην ερώτηση 4 με την αντίστοιχη επιλογή 4α.

Η επιλογή της απάντησης 5γ, σύμφωνα με την οποία το NaCl στο υδατικό του διάλυμα βρίσκεται με τη μορφή μορίων συγκέντρωσε τα μεγαλύτερα ποσοστά πριν τη διδασκαλία και για τις δύο ομάδες ενώ κάτι παρόμοιο είχε παρατηρηθεί και με την επιλογή της απάντησης 3α (αν και εκεί επρόκειτο για οξύ).



Σχήμα 17: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 5

4.4.6 Ερώτηση 6

- 6) Κατά την χημική αντίδραση $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) + \text{NaNO}_3(\text{aq})$ παράγεται το ίζημα του AgCl διότι
- Τα άτομα του Ag και του Cl που υπάρχουν στο διάλυμα ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μόρια AgCl.
 - Τα ανιόντα Cl^- αποφορτίζονται μεταφέροντας το επιπλέον ηλεκτρόνιό τους στα κατιόντα Ag^+ που με αυτόν τον τρόπο αποφορτίζονται και αυτά. Έτσι δημιουργούνται άτομα Ag και Cl που ενώνονται και σχηματίζουν το ίζημα.
 - Ιόντα Ag^+ και ιόντα Cl^- που υπάρχουν στο διάλυμα έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις με τελικό αποτέλεσμα να σχηματίζουν τον δυσδιάλυτο ιοντικό κρύσταλλο του AgCl.
 - Μόρια AgNO_3 συγκρούονται με μόρια NaCl , με αποτέλεσμα τον σχηματισμό νέων μορίων του AgCl και του NaNO_3 .

Στην ερώτηση αυτή δίνεται η χημική εξίσωση μιας αντίδρασης μεταξύ δύο αλάτων σε υδατικό διάλυμα, όπως την μαθαίνουν οι μαθητές σύμφωνα με τη παραδοσιακή διδασκαλία (μοριακή εξίσωση). Σε αντίθεση με τις προηγούμενες ερωτήσεις, στην ερώτηση αυτή, όπως και σε όλες τις επόμενες, περιγράφεται μια αντίδραση. Πρόκειται για μια αντίδραση διπλής αντικατάστασης. **Στόχος** της ερώτησης είναι να ανιχνεύσει το κατά πόσο οι μαθητές αντιλαμβάνονται σωστά i) τη μορφή των σωματιδίων με την οποία βρίσκονται τόσο τα αντιδρώντα όσο και τα προϊόντα στο υδατικό διάλυμα όπου

πραγματοποιείται η αντίδραση και ii) τη φύση και τον τρόπο σχηματισμού του ιζήματος, το οποίο αναφέρεται στην εκφώνηση και ο οποίος σχηματισμός αποτελεί την αιτία πραγματοποίησης της αντίδρασης.

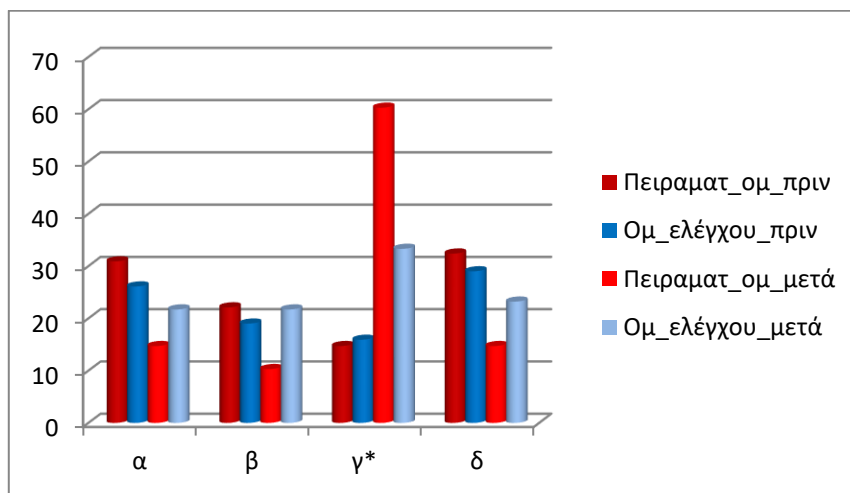
Πίνακας 36: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 6

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
6α	30,9	14,7	-16,2	26,1	21,7	-4,4
6β	22,1	10,3	-11,8	29	21,7	-7,3
6γ*	14,7	60,3	45,6	15,9	33,3	17,4
6δ	32,4	14,7	-17,7	29,0	23,2	-5,8

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 6. Οι λανθασμένες απαντήσεις (6α, 6β και 6δ) στο τεστ πριν τη διδασκαλία συγκέντρωσαν μεγάλα ποσοστά και στις δύο ομάδες. Οι απαντήσεις αυτές σταχυολογούν πολλές από τις παρανοήσεις των μαθητών πάνω στο συγκεκριμένο θέμα σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Και οι δύο ομάδες βελτιώνονται στο τεστ μετά τη διδασκαλία, αλλά η βελτίωση αυτή είναι εντυπωσιακή για την Πειραματική ομάδα που συγκεντρώνει ποσοστό σωστών απαντήσεων 60,3% . Φαίνεται ότι η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση έχει ευεργετικό αποτέλεσμα στην κατανόηση - πέρα από το συμβολικό επίπεδο γραφής μιας χημικής εξίσωσης – του τι συμβαίνει σε υπομικροσκοπικό επίπεδο, κατά την αντίδραση σχηματισμού ιζήματος. Εκτιμούμε ότι σε αυτό συντελούν i) η εκμάθηση του περάσματος από τη μοριακή εξίσωση στην ιοντική και τέλος στην καθαρά ιοντική και ii) η χρήση που έγινε κατά τη διάρκεια του 4^{ου} και 5^{ου} μαθήματος της διδακτικής παρέμβασης, των αναπαραστάσεων σε υπομικροσκοπικό επίπεδο σε αντιστοίχιση με τα σώματα της χημικής εξίσωσης.

Οι μαθητές που επιλέγουν την απάντηση 6α πιστεύουν ότι μέσα στο διάλυμα υπάρχουν άτομα Ag και Cl που ενώνονται και σχηματίζουν μόρια. Άρα θεωρούν το ίζημα ως μοριακή ένωση. Το ίδιο πιστεύουν και οι μαθητές που επιλέγουν την 6β διαφωνώντας μόνο ως το πώς σχηματίστηκαν τα άτομα αυτά. Τέλος την απάντηση 6δ, που συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά πριν τη διδασκαλία, επιλέγουν μαθητές που πιστεύουν ότι οι ενώσεις είναι μέσα στο διάλυμα, με μορφή μορίων τα οποία συγκρούονται για να σχηματιστεί η μοριακή ένωση του AgCl. (Το ίδιο είχαμε δει και με την απάντηση 5γ).

Κοινός παρανομαστής των τριών αυτών λανθασμένων απαντήσεων είναι ότι το ίζημα βρίσκεται με τη μορφή μορίων.



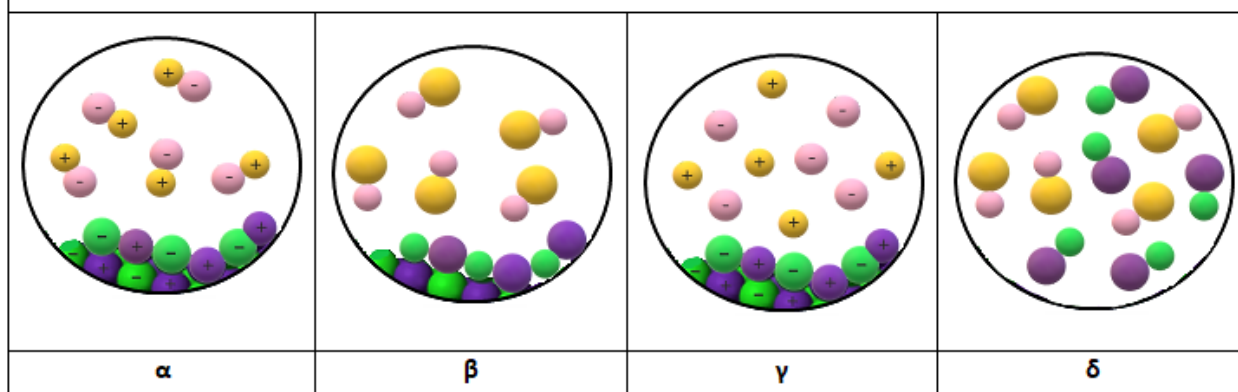
Σχήμα 18: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 6

4.4.7 Ερώτηση 7

7) Οι χημικές ενώσεις AgF , NaCl και NaF είναι ευδιάλυτες στο νερό, ενώ ο AgCl είναι δυσδιάλυτος. Αναμιγνύουμε δυο υδατικά διαλύματα AgF και NaCl , τα οποία αντιδρούν πλήρως μεταξύ τους, σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{AgF}_{(aq)} + \text{NaCl}_{(aq)} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{NaF}_{(aq)}$

Ποιο από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει πιο πιστά τα σωματίδια των προϊόντων που υπάρχουν στο δοχείο. Να ληφθεί υπόψη ότι και στα 4 δοχεία υπάρχουν μόρια νερού που δεν απεικονίζονται.

Δίνονται οι συμβολισμοί: άτομο φθορίου F , ιόν φθορίου F^- , άτομο αργύρου Ag , ιόν αργύρου Ag^+ , άτομο χλωρίου Cl , ιόν χλωρίου Cl^- , άτομο νατρίου Na , ιόν νατρίου Na^+



Στην ερώτηση 7 δίνεται η χημική εξίσωση μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης, μεταξύ δύο αλάτων σε υδατικό διάλυμα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ιζήματος. Δίνεται δηλαδή η συμβολική αναπαράσταση που περιλαμβάνει και τα σύμβολα aq και \downarrow . Δεν αποτελεί στόχο της άσκησης η εξέταση του κατά πόσον οι μαθητές γνωρίζουν τη σημασία

των συμβόλων αυτών. Εξάλλου στο κείμενο της ερώτησης επαναλαμβάνονται οι πληροφορίες αυτές. Η ερώτηση αφορά τη μορφή των σωματιδίων που έχουν τα προϊόντα της αντίδρασης. **Στόχοι** της συγκεκριμένης ερώτησης είναι να διαπιστωθεί:

i) Το αν οι μαθητές αποκωδικοποιούν σωστά το συμβολικό επίπεδο αναγραφής μιας χημικής εξίσωσης γραμμένης ως μοριακή εξίσωση, που περιγράφει μια αντίδραση σχηματισμού ιζήματος, μέσα από το μηχανισμό ανταλλαγής ιόντων.

ii) Αν μπορούν οι μαθητές να επιλέξουν τη σωστή υπομικροσκοπική αναπαράσταση των προϊόντων. Για να το κάνουν αυτό, πρέπει να γνωρίζουν ότι το ίζημα, ως στερεό που είναι έχει πυκνή διάταξη και «κάθεται κάτω». Επίσης ότι πρόκειται για ιοντικό κρύσταλλο, άρα πρέπει να επιλέξουν αναπαράσταση στην οποία τα σωματίδια του είναι ιόντα. Τέλος για το δεύτερο προϊόν, το $\text{NaF}_{(aq)}$, πρέπει να γνωρίζουν ότι αφού πρόκειται για ευδιάλυτο άλας, είναι με τη μορφή ιόντων Na^+ και F^- που «κολυμπούν» στο διάλυμα.

Πίνακας 37: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 7.

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
7α	25,0	13,2	-11,8	26,1	18,8	-7,3
7β	29,4	14,7	-14,7	33,3	30,4	-2,9
7γ*	16,2	58,8	42,6	15,9	31,9	16,0
7δ	29,4	13,2	-16,2	24,6	18,8	-5,8

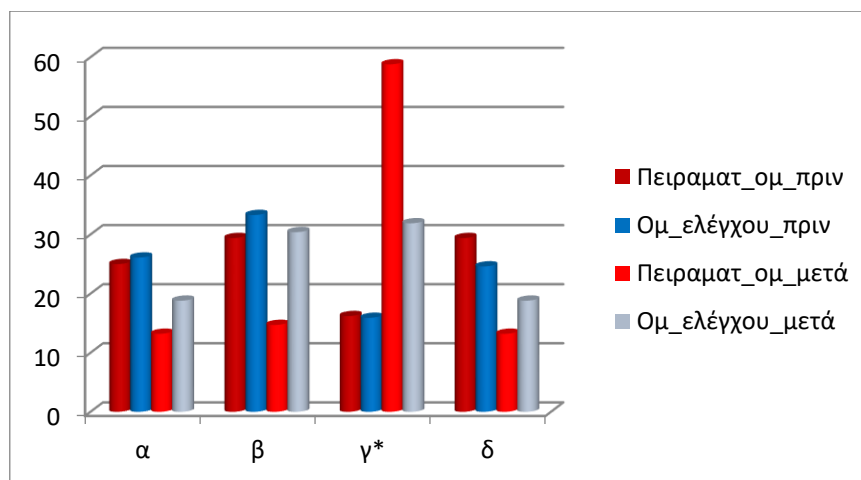
Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 7.

Η 7γ που είναι η σωστή απάντηση, ενώ είχε μικρά ποσοστά πριν τη διδασκαλία και στις δύο ομάδες, επελέγει από τους περισσότερες μαθητές μετά τη διδασκαλία. Η επαφή των μαθητών με χημικές αντιδράσεις, στις προηγούμενες τάξεις είναι πολύ μικρή, οπότε είναι λογικό να έχουμε αποτελέσματα - πριν τη διδασκαλία – με πολλές λάθος απαντήσεις. Αυτό εξηγεί και τη βελτίωση των μαθητών και των δύο ομάδων μετά τη διδασκαλία. Εντούτοις μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η βελτίωση των μαθητών της πειραματικής ομάδας είναι σαφώς μεγαλύτερη από αυτή της ομάδας ελέγχου. (Για τους λόγους στους οποίους αποδίδουμε το γεγονός αυτό, βλέπε στα «Σχόλια της ερώτησης 6»).

Στην 7α τα σωματίδια είναι επίσης ιόντα, αλλά σε αυτήν το ευδιάλυτο άλας NaF είναι με τη μορφή ζευγών ιόντων. Οι μαθητές που επιλέγουν την 7β πιστεύουν ότι το $\text{NaF}_{(aq)}$ είναι με τη μορφή μορίων, ενώ τους παραπλανά η πυκνή διάταξη του ιζήματος που όμως,

όπως δείχνει η εικόνα, θεωρούν ότι αποτελείται από άτομα ή μόρια. Την απάντηση αυτή υιοθετεί μεγάλο ποσοστό μαθητών της ομάδας ελέγχου και μετά τη διδασκαλία.

Η επιλογή της 7δ αναδεικνύει την εναλλακτική άποψη των μαθητών που θεωρούν ότι οι χημικές ενώσεις είναι (όλες) μόρια. Εκτίμησή μας είναι ότι η μοριακή εξίσωση, σαν τρόπος γραφής αυτών των αντιδράσεων, ενισχύει αυτή την άποψη.



Σχήμα 19: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 7

4.4.8 Ερώτηση 8

8) Κατά την αντίδραση εξουδετέρωσης ενός οξέος και μιας βάσης σε υδατικό διάλυμα
α) μόρια του οξέος αντιδρούν με τα μόρια της βάσης και παράγουν μόρια άλατος και νερού.
β) τα άτομα του υδρογόνου που προέρχονται από το οξύ και υπάρχουν μέσα στο διάλυμα, ενώνονται με τα ιόντα υδροξειδίου από τη βάση για να σχηματίσουν μόρια νερού.
γ) κατιόντα H^+ που προέρχονται από το οξύ αντιδρούν με ανιόντα OH^- που προέρχονται από τη βάση για να σχηματίσουν μόρια νερού.
δ) τα άτομα του υδρογόνου που προέρχονται από το οξύ ενώνονται με τα άτομα οξυγόνου και υδρογόνου που προέρχονται από τη βάση, για να σχηματίσουν μόρια νερού.

Στόχος. της ερώτησης είναι να διερευνήσει το κατά πόσον οι μαθητές κατανοούν σωστά αυτό που συμβαίνει στο υπομικροσκοπικό επίπεδο, κατά την αντίδραση εξουδετέρωσης μεταξύ ενός οξέος και μιας βάσης σε υδατικό διάλυμα.

Πίνακας 38: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 8.

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
8α	38,2	8,8	-29,4	44,9	17,4	-27,5
8β	14,7	2,9	-11,8	14,5	8,7	-5,8
8γ*	26,5	82,4	55,9	26,1	68,1	42,0
8δ	20,6	5,9	-14,7	14,5	5,8	-8,7

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 8. Η αντίδραση εξουδετέρωσης διδάσκεται στη Γ΄ Γυμνασίου και επανεξετάζεται διεξοδικότερα στη Α΄ Λυκείου. Στο σχολικό βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου⁴⁹ αναφέρεται: «Όταν αναμειγνύουμε ένα διάλυμα οξέος με ένα διάλυμα βάσης, τα ιόντα H^+ και τα ιόντα OH^- συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μόρια νερού: $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$ ». Βλέπουμε ότι υιοθετείται η ιοντική εξίσωση για την παρουσίαση της αντίδρασης. Ισως αυτός είναι και ο λόγος που η σωστή απάντηση 8γ συγκεντρώνει αρκετά μεγάλα ποσοστά στο τεστ πριν τη διδασκαλία και για τις δύο ομάδες. Οι μαθητές δηλαδή μπορεί να ανακαλούν αυτό που είχαν διδαχθεί στη Γ΄ Γυμνασίου και γι' αυτό να απαντούν σωστά. Για την ομάδα ελέγχου, τα αποτελέσματα στο «τεστ μετά» δείχνουν μια σημαντική βελτίωση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 5 του σχετικού αποσπάσματος από το σχολικό βιβλίο της Α΄ Λυκείου⁴⁰, ότι η εξουδετέρωση αναφέρεται σαν αντίδραση μεταξύ των ιόντων H^+ και OH^- , ανεξάρτητα αν στη συνέχεια τα τρία παραδείγματα αντιδράσεων εξουδετέρωσης δίνονται με μοριακές εξισώσεις.

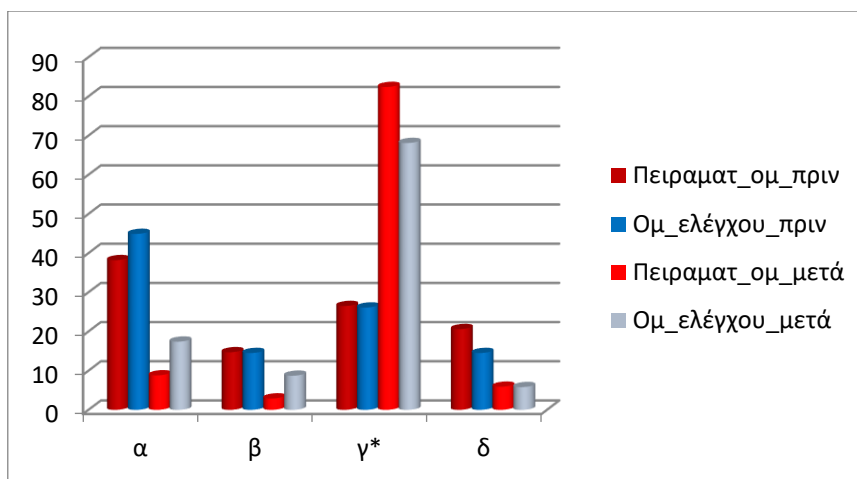
2. Εξουδετέρωση

Εξουδετέρωση ονομάζεται η αντίδραση ενός οξέος με μία βάση. Κατά την αντίδραση αυτή τα υδρογονοκατιόντα (H^+) που προέρχονται από το οξύ ενώνονται με τα ανιόντα υδροξειδίου (OH^-) που προέρχονται από τη βάση, και δίνουν νερό:



Εικόνα 5: Απόσπασμα από το σχολικό βιβλίο της Α΄ Λυκείου⁴⁰

Όμως μεγαλύτερη βελτίωση στο τεστ μετά τη διδασκαλία, παρουσιάζουν οι μαθητές της Πειραματικής ομάδας. Εκτιμούμε ότι σε αυτό συνετέλεσε η διδακτική παρέμβαση που εφαρμόστηκε στην ομάδα αυτή και περισσότερο το περιεχόμενο του 5^{ου} μαθήματος που είχε σαν κύριο αντικείμενο την «Εξουδετέρωση» από τη σκοπιά των ιοντικών κυρίως εξισώσεων. Από τις λανθασμένες απαντήσεις, τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία, τις περισσότερες απαντήσεις και για τις δύο ομάδες συγκέντρωσε η επιλογή 8α, επαναβεβαιώνοντας ότι η εναλλακτική άποψη των μαθητών πως όλες οι ενώσεις είναι μόρια, είναι ευρέως διαδεδομένη. Εκτιμούμε ότι είναι και δύσκολα ανατρέψιμη αφού ενισχύεται από το γεγονός της γραφής όλων των αντιδράσεων με μοριακή εξίσωση.



Σχήμα 20: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 8

4.4.9 Ερώτηση 9

9) Κατά την πραγματοποίηση της αντίδρασης $\text{AgF}_{(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{NaF}_{(\text{aq})}$

α) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ιόντων. Έτσι ανάμεσα στα μόρια του νερού κινούνται τα ιόντα Ag^+ , F^- , Na^+ και Cl^- . Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί τα ιόντα του Ag^+ και του Cl^- έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις, σχηματίζοντας τον δυσδιάλυτο ιοντικό κρύσταλλο του AgCl .

β) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή μορίων που αποτελούνται από ζεύγη ατόμων. Κατά την αντίδραση τα άτομα ανταλλάσσουν μεταξύ τους ταίρι και σχηματίζονται έτσι νέα ζεύγη ατόμων που είναι τα νέα μόρια των προϊόντων. Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί το προϊόν AgCl είναι ιζήμα.

γ) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ζευγών από ιόντα. Ο Ag^+ με το F^- και το Na^+ με το Cl^- . Κατά την αντίδραση τα ιόντα ανταλλάσσουν μεταξύ τους ταίρι και σχηματίζονται έτσι νέα ζεύγη ιόντων που είναι τα προϊόντα. Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί το προϊόν AgCl είναι ιζήμα.

δ) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ιόντων. Έτσι ανάμεσα στα μόρια του νερού κινούνται τα ιόντα Ag^+ , F^- , Na^+ και Cl^- . Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί τα ιόντα του Ag^+ και του Cl^- που έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις, ενώνονται και σχηματίζουν τα μόρια της δυσδιάλυτης ένωσης του AgCl .

Στόχος της ερώτησης είναι να διερευνήσει το πώς κατανοούν οι μαθητές το πριν και το μετά μιας αντίδρασης ανταλλαγής ιόντων και σχηματισμού ιζήματος. Εξετάζει τη σωματιδιακή μορφή των αντιδρώντων και των προϊόντων, όπως και τον τρόπο σχηματισμού του ιζήματος που αποτελεί τον λόγο πραγματοποίησης της αντίδρασης, δηλαδή ουσιαστικά την μεταβολή που επήλθε μεταξύ αρχικής και τελικής κατάστασης. Η μεγάλη έκταση των απαντήσεων αποτελεί ένα πρόβλημα στην ερώτηση αυτή. Όμως από τη στιγμή που διερευνεί πολλές πτυχές της αντίδρασης και είναι μία ερώτηση συνεκτικής κατανόησης, η μεγάλη έκταση ήταν δύσκολο να αποφευχθεί.

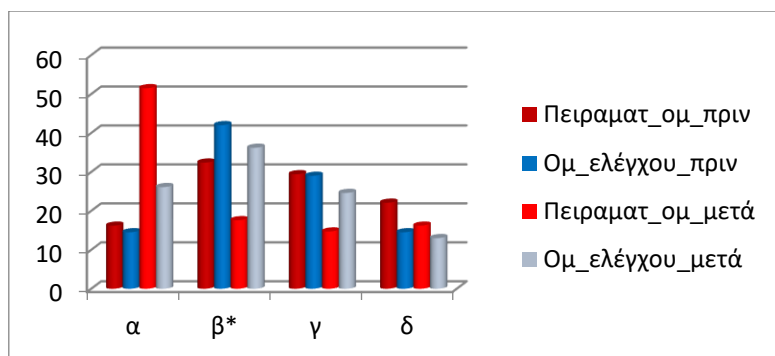
Πίνακας 39: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 9

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
9α*	16,2	51,5	35,3	14,5	26,1	11,6
9β	32,4	17,6	-14,8	42,0	36,2	-5,8
9γ	29,4	14,7	-14,7	29,0	24,6	-4,4
9δ	22,1	16,2	-5,9	14,5	13,0	-1,5

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 9. Η αρχική εκτίμηση ήταν ότι η ερώτηση θα δυσκόλευε τους μαθητές αφού εξέταζε την πορεία της αντίδρασης και όχι μόνο ένα στιγμιότυπό της. Η δε μεγάλη έκταση κάθε επιλογής θα αύξανε το βαθμό δυσκολίας. Πράγματι η ερώτηση αυτή συγκέντρωσε τις λιγότερες σωστές απαντήσεις σχεδόν σε καθεμία από τις τέσσερις περιπτώσεις αποτελεσμάτων (πριν και μετά τη διδασκαλία για κάθε ομάδα, βλέπε σχήμα 23).

Παρατηρούμε ότι η ομάδα ελέγχου παρουσιάζει μεν μια βελτίωση μεταξύ του τεστ πριν και του τεστ μετά, η οποία όμως είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με άλλες ερωτήσεις. Μάλιστα παρατηρούμε ότι στην ομάδα αυτή, μόνο σε δύο ερωτήσεις, στις ερωτήσεις 9 και 10, ακόμα και μετά τη διδασκαλία η σωστή απάντηση δεν συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό προτιμήσεων. Η πειραματική ομάδα όμως, μετά τη διδασκαλία, αυξάνει το ποσοστό σωστών απαντήσεων κατά 35,3% (% Διαφορά μετά-πριν). Εκτιμούμε ότι αυτό οφείλεται στο περιεχόμενο της διδακτικής παρέμβασης, ιδιαίτερα του 5^{ου} μαθήματος, όπου αντιδρώντα και προϊόντα της αντίδρασης, αντιστοιχίζονταν με τις υπομικροσκοπικές τους αναπαραστάσεις. Έτσι ο μαθητής αποκτά εικόνα για τη σωματιδιακή κατάσταση των ενώσεων.

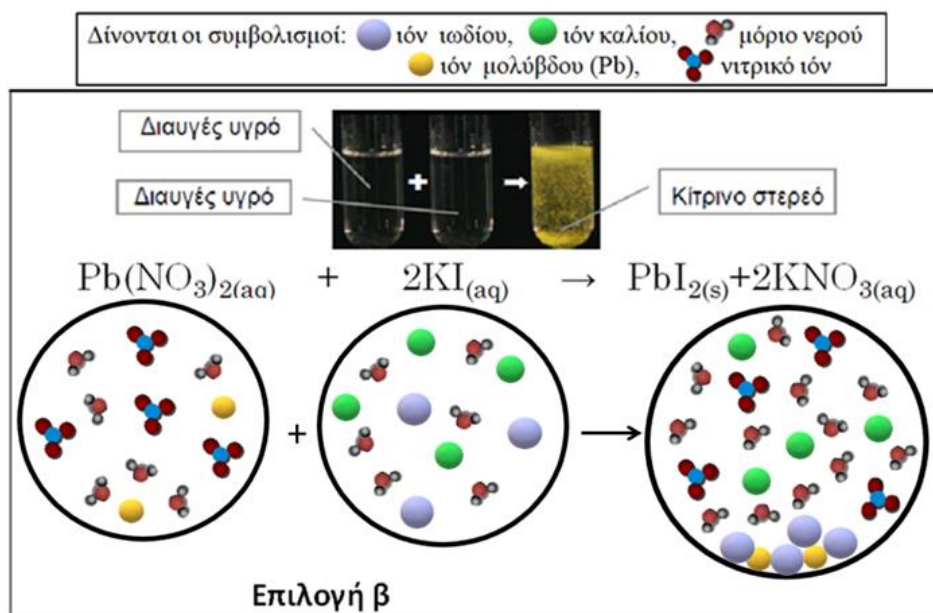
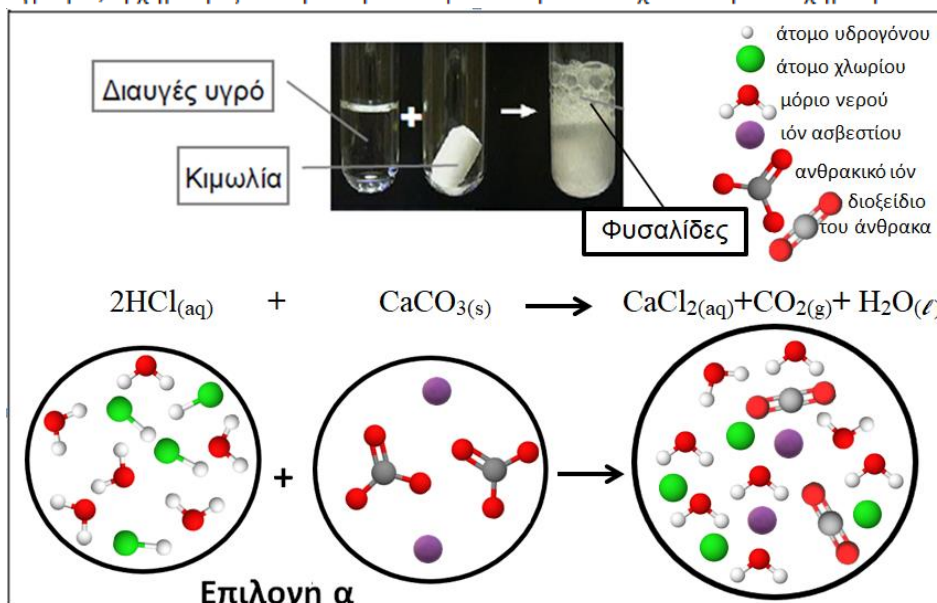
Οι άλλες απαντήσεις αναφέρονται σε κάποιες από τις δημοφιλέστερες, όπως αναδεικνύεται από τη βιβλιογραφία, παρανοήσεις. Η επιλογή 9β υποστηρίζει για τη μορφή των αντιδρώντων, την ύπαρξη ζευγών ατόμων που σχηματίζουν μόρια και τα οποία αλλάζοντας ταίρι σχηματίζουν νέα ζεύγη, τα μόρια των προϊόντων. Συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά ανάμεσα στις παρανοήσεις. Η επιλογή 9γ διατείνεται για τη μορφή των αντιδρώντων, την ύπαρξη ζευγών ιόντων τα οποία αλλάζοντας ταίρι σχηματίζουν νέα ζεύγη ιόντων, ενώ η επιλογή 9δ μιλάει μεν για την ύπαρξη των τεσσάρων ιόντων που κινούνται ανάμεσα στα μόρια νερού αλλά αναφέρει ότι τα ιόντα Ag^+ και Cl^- ενώνονται για να σχηματίσουν το μόριο του $AgCl$.



Σχήμα 21: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 9

4.4.10 Ερώτηση 10

10) Καθεμία από τις 4 παρακάτω επιλογές, περιλαμβάνει: i) μια φωτογραφία, ii) τη χημική εξίσωση μιας αντίδρασης, iii) μια αναπαράσταση με σωματίδια (άτομα, μόρια, ιόντα). Σε ποια από τις 4 επιλογές, η φωτογραφία, η χημική εξίσωση και η αναπαράσταση αντιστοιχούν στην ίδια χημική αντίδραση;



Δίνονται οι συμβολισμοί: ● άτομο ή ιόν νατρίου, ● υδροξείδιο, ● μόριο νερού, ● ιόν μαγνησίου, ● ιόν χλωρίου

Διαυγές υγρό

Διαυγές υγρό

Λευκό ίζημα

$$2\text{NaOH}_{(aq)} + \text{MgCl}_{2(aq)} \rightarrow 2\text{NaCl}_{(aq)} + \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$$

Επιλογή γ

Δίνονται οι συμβολισμοί: ● ιόν υδρογόνου, ● ιόν χλωρίου, ● μόριο νερού, ● ιόν υδροξείδιου, ● ιόν νατρίου

Διαυγές υγρό

Διαυγές υγρό

Φυσαλίδες

Διαυγές υγρό

$$\text{HCl}_{(aq)} + \text{NaOH}_{(aq)} \rightarrow \text{NaCl}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$$

Επιλογή δ

- Οι φωτογραφίες στις επιλογές α, β και δ είναι από τη διδακτορική διατριβή της Γκίτζια (2013)⁷

Στην ερώτηση αυτή καθεμία από τις τέσσερις επιλογές που προτείνονται σαν απάντηση περιλαμβάνει μια μακροσκοπική αναπαράσταση (μία φωτογραφία), μια συμβολική αναπαράσταση (τη χημική εξίσωση της αντίδρασης) και μια μικροσκοπική αναπαράσταση (τα σωματίδια των αντιδρώντων και προϊόντων μέσα στο διάλυμα). **Στόχος** της ερώτησης είναι να ελεγχθεί η ικανότητα των μαθητών να κινηθούν και στα τρία επίπεδα Χημείας αφού ζητείται από τους μαθητές να βρουν εκείνη την τριάδα των αναπαραστάσεων που αντιστοιχεί στην ίδια χημική αντίδραση. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται προσπάθεια να ελεγχθεί το κατά πόσον έχει γίνει κατανοητό το εννοιολογικό

περιεχόμενο του φαινομένου μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης, αφού έχει γίνει πλέον γενικά αποδεκτό ότι η ικανότητα των μαθητών να κινηθούν από το ένα επίπεδο στο άλλο – ανάμεσα δηλαδή στο μακρο, μικρο και συμβολικό επίπεδο - αποτελεί κριτήριο βαθύτερης κατανόησης της εξεταζόμενης έννοιας. Όμως η χημική αντίδραση σαν φαινόμενο έχει ένα βαρύ εννοιολογικό περιεχόμενο με πολλές πτυχές. Για να αποφορτίσουμε αυτό το περιεχόμενο φροντίσαμε σε όλες τις προτεινόμενες απαντήσεις να διατηρείται η μάζα των αντιδρώντων με αυτή των προϊόντων, αφού δεν είχαμε στόχο να εξεταστεί η ερμηνεία των συντελεστών ή των δεικτών μιας χημικής εξίσωσης. Αυτό που κυρίως ενδιέφερε είναι να κάνει ο μαθητής το σωστό ταίριασμα ελέγχοντας και τη σωματιδιακή φύση των σωμάτων της αντίδρασης και τις αλλαγές που παρατηρούνται.

Πίνακας 40: Σχετική συχνότητα απαντήσεων στην ερώτηση 10

Απαντήσεις	Μέθοδος: Ιοντικές Εξισώσεις (N=68)			Μέθοδος: Μοριακές Εξισώσεις (N=69)		
	Σχετική συχνότητα			Σχετική συχνότητα		
	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν	Τεστ πριν (%)	Τεστ μετά (%)	% Διαφορά μετά-πριν
10α	22,1	11,8	-10,3	14,5	14,5	0,0
10β*	17,6	66,2	48,6	15,9	27,5	11,6
10γ	33,8	10,3	-23,5	39,1	29,0	-10,1
10δ	26,5	11,8	-14,7	30,4	29,0	-1,4

Σχόλια, παρανοήσεις και συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της ερώτησης 10. Η ερώτηση αυτή λόγω της πολυπλοκότητάς της συγκέντρωσε στις 3 από τις 4 ομάδες αποτελεσμάτων («τεστ πριν» για την ομάδα ελέγχου, «τεστ μετά» για την ομάδα ελέγχου, και «τεστ πριν» για την πειραματική ομάδα) από τα μικρότερα ποσοστά σωστών απαντήσεων σε σύγκριση με τις άλλες ερωτήσεις (βλέπε σχήμα 23)

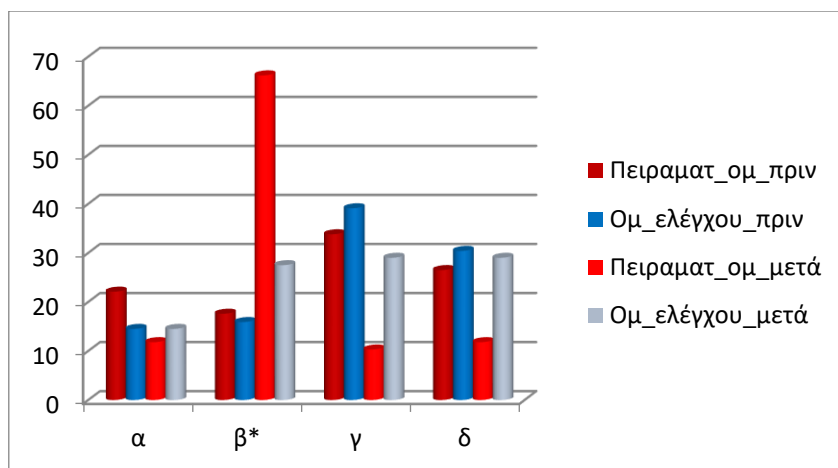
Στην επιλογή α δεν υπάρχει πρόβλημα στην αντιστοίχιση μεταξύ της μακροσκοπικής αναπαράστασης και της συμβολικής. Στην μικροσκοπική όμως αναπαράσταση αυτής της επιλογής υπάρχουν τα παρακάτω λάθη: α) το $\text{HCl}_{(aq)}$ είναι με μορφή μορίων στον αριστερό κύκλο β) το $\text{CaCO}_{3(s)}$ έχει αραιή διάταξη στον μεσαίο κύκλο ενώ πρόκειται για στερεό και γ) στα προϊόντα που αναπαραστώνται στον δεξί κύκλο, υπάρχουν άτομα Cl και όχι ιόντα. Τα λάθη αυτά, οι μαθητές μπορούσαν να τα εντοπίσουν κατά τη μετάβασή τους από το συμβολικό επίπεδο στο μικροσκοπικό ή και το αντίστροφο, ενώ από το μακροσκοπικό επίπεδο στο μικροσκοπικό επίπεδο το λάθος που θα μπορούσε να εντοπιστεί είναι ότι στη φωτογραφία φαίνεται ότι η κιμωλία είναι στερεή ενώ στον μεσαίο κύκλο η διάταξη της είναι αραιή. Ο μαθητής λοιπόν που επιλέγει αυτή την απάντηση σαν

σωστή είτε έχουν διαφύγει της προσοχής του κάποια από τα παραπάνω, είτε έχει τις παρακάτω εναλλακτικές ιδέες: α) θεωρεί ότι το HCl (ίσως και γενικότερα όλα τα οξέα) μέσα στο νερό είναι με μορφή μορίων, β) τα στερεά δεν έχουν πυκνή διάταξη και γ) στα υδατικά διαλύματα ευδιάλυτων αλάτων, μπορεί τα σωματίδια τους να είναι άτομα και όχι ιόντα.

Η επιλογή β είναι η σωστή απάντηση. Δεν υπάρχει κάποια ασυμβατότητα μεταξύ των τριών αναπαραστάσεων.

Στην επιλογή γ δεν υπάρχει κάποιο λάθος στην αντιστοίχιση της μακροσκοπικής αναπαράστασης με τη συμβολική. Στην μικροσκοπική όμως αναπαράσταση υπάρχουν δύο λάθη: α) στον αριστερό κύκλο, στο $\text{NaOH}_{(aq)}$ κάθε ιόν νατρίου είναι ενωμένο με ένα ιόν υδροξειδίου, βρίσκεται δηλαδή με τη μορφή ζευγών ιόντων, β) στον δεξί κύκλο τα σωματίδια του $\text{Mg}(\text{OH})_2$ δεν βρίσκονται σε πυκνή διάταξη αν και στη φωτογραφία δηλώνεται η ύπαρξη ιζήματος και στη χημική εξίσωση υπάρχει το σύμβολο ↓. Η επιλογή δ, για όσους την έκαναν, ίσως εδράζεται στην ύπαρξη λανθασμένης αντίληψης ότι ο σχηματισμός νερού συνοδεύεται από δημιουργία φουσαλίδων. Το ποσοστό αυτό, ακόμα και μετά τη διδασκαλία δεν είναι αμελητέο ειδικά για την ομάδα ελέγχου.

Για την ερώτηση 10, επειδή οι λανθασμένες επιλογές δεν περιέχουν μόνο ένα λάθος, είναι δύσκολο να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα σχολιάζοντας τα στατιστικά δεδομένα αυτών των απαντήσεων. Μπορούμε όμως να διακρίνουμε τα σημαντικά ψηλότερα ποσοστά σωστών απαντήσεων της πειραματικής ομάδας στο τεστ μετά τη διδασκαλία, όπως και την πολύ μεγαλύτερη βελτίωσή της έναντι της ομάδας ελέγχου (% διαφορά μετά-πριν). Αποδίδουμε τα αποτελέσματα αυτά στο γεγονός ότι κατά τη διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο και το περιεχόμενο κυρίως του 4ου μαθήματος, οι μαθητές απέκτησαν εμπειρία στο πέρασμα από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης. Η χρήση των υπομικροσκοπικών αναπαραστάσεων σε αντιστοίχιση με τα αντιδρώντα και προϊόντα της χημικής εξίσωσης, όπως συνδυάστηκε, προσφέρει μια καλύτερη γνώση της σωματιδιακής φύσης των σωμάτων που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση. Επίσης το πέρασμα από τη μοριακή εξίσωση, στην ιοντική και τέλος στην καθαρά ιοντική βοηθά τον μαθητή να διακρίνει την «πραγματική αντίδραση» που έλαβε χώρα, όπως και να διακρίνει τις όποιες αλλαγές συνέβησαν πράγματι. Τέλος θεωρούμε ότι η χαμηλή απόδοση της ομάδας ελέγχου οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση των μοριακών εξισώσεων συσκοτίζει και δημιουργεί παρανοήσεις ακριβώς στα δύο προαναφερθέντα θέματα: την «πραγματική αντίδραση» και τη σωματιδιακή φύση των ενώσεων της χημικής αντίδρασης



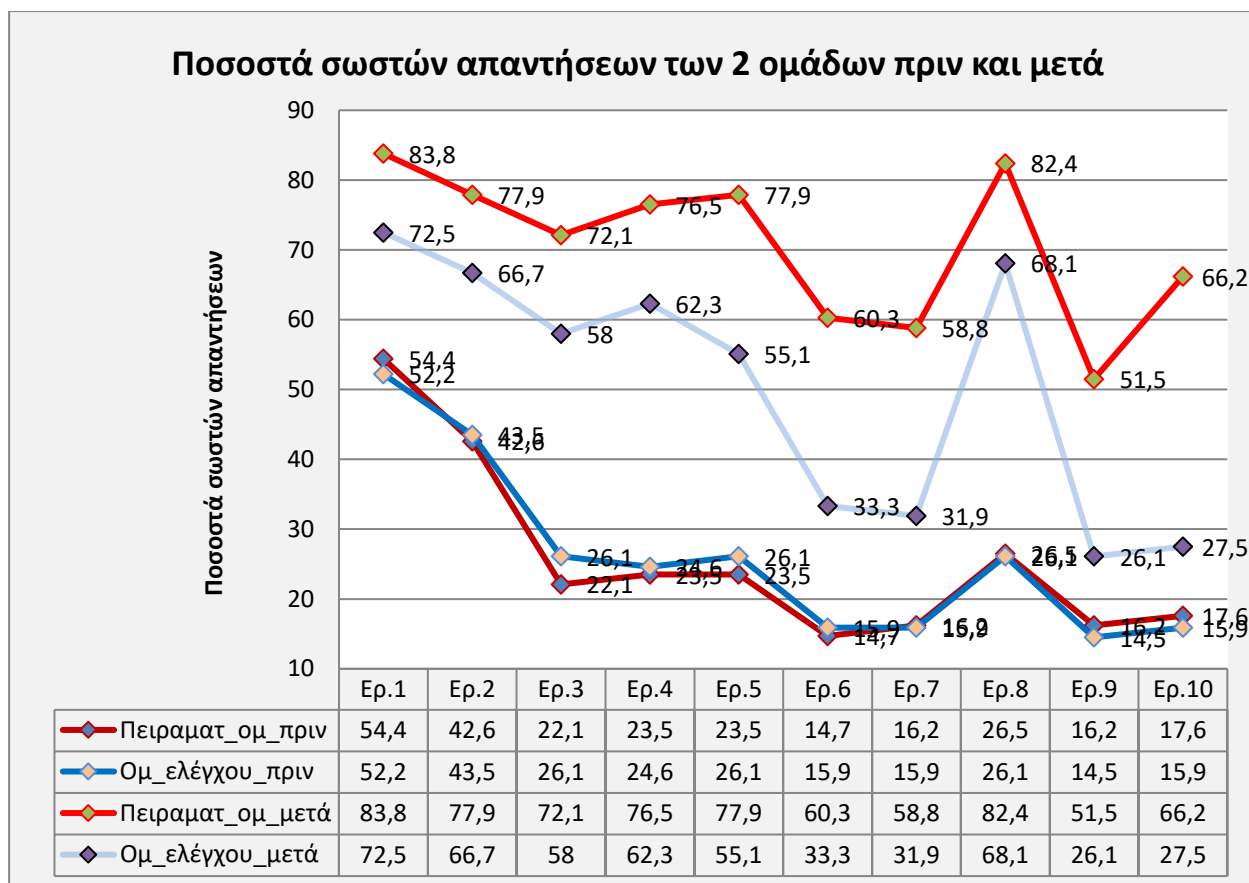
Σχήμα 22: Συγκριτικό γράφημα σχετικής συχνότητας απαντήσεων στην ερώτηση 10

4.5 Η συνολική αποτίμηση των αποτελεσμάτων

Το γνωστικό τεστ που συμπληρώθηκε από τους μαθητές πριν τη διδακτική παρέμβαση το ονομάσαμε «τεστ πριν», ενώ όταν το ίδιο συμπληρώθηκε μετά τη διδασκαλία των πέντε μαθημάτων, το ονομάσαμε «τεστ μετά».

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στο γνωστικό «τεστ πριν» οι δύο ομάδες συγκέντρωσαν παραπλήσια ποσοστά σωστών απαντήσεων σε όλες τις ερωτήσεις. Σε κάποιες ερωτήσεις παρατηρήσαμε μια πολύ μικρή υπεροχή της μιας ομάδας και σε άλλες της άλλης ομάδας. Η σύγκριση με τον κατάλληλο στατιστικό έλεγχο έδειξε ότι η πολύ μικρή διαφορά στον μέσο όρο των δύο ομάδων δεν ήταν στατιστικά σημαντική (βλέπε παράγραφο 4.3.2), γεγονός που αποδεικνυε την ισοδυναμία των δύο ομάδων.

Στο γνωστικό «τεστ μετά» τα αποτελέσματα έδειξαν μια βελτίωση και για τις δύο ομάδες σε σχέση με την απόδοσή τους στο γνωστικό «τεστ πριν». Όμως συγκρινόμενες οι δύο ομάδες μεταξύ τους, αναδείχθηκε μια σαφής υπεροχή της Πειραματικής ομάδας και κατά συνέπεια της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης. Η εφαρμογή του κατάλληλου στατιστικού ελέγχου κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι βαθμολογίες των μαθητών της Πειραματικής ομάδας στο γνωστικό «τεστ μετά» τη διδασκαλία, συγκέντρωσαν έναν μέσο όρο πιο μεγάλο ($M=7,07$) από εκείνον που συγκέντρωσαν οι μαθητές της ομάδας Ελέγχου ($M=5,01$). Αυτή η διαφορά κρίθηκε στατιστικά σημαντική (βλέπε παράγραφο 4.3.3). Προς επίρρωση του συμπεράσματος αυτού, εφαρμόστηκε και ο κατάλληλος στατιστικός έλεγχος για τη σύγκριση της βελτίωσης της Πειραματικής ομάδας με τη βελτίωση της ομάδας Ελέγχου, ο οποίος κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα (βλέπε παράγραφο 4.3.4).



Σχήμα 23: Συγκεντρωτικά ποσοστά σωστών απαντήσεων όλων των ερωτήσεων

Στο σχήμα 23 διακρίνονται τα ποσοστά σωστών απαντήσεων για κάθε ερώτηση και για καθεμία από τις τέσσερις σειρές αποτελεσμάτων («τεστ πριν» και «τεστ μετά» για την Πειραματική ομάδα, «τεστ πριν» και «τεστ μετά» για την ομάδα ελέγχου). Αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων κάθε ερώτησης έγινε στο υποκεφάλαιο 4.4. όπου και εντοπίστηκαν κάποιες από τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών στα επιμέρους θέματα. Για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων στο «τεστ μετά» τη διδασκαλία, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

A) Σε όλες τις ερωτήσεις υπάρχει υπεροχή στα αποτελέσματα της Πειραματικής ομάδας έναντι της ομάδας Ελέγχου, άλλες φορές μεγάλη, άλλες πιο μικρή, πάντα όμως αξιοσημείωτη.

B) Οι πρώτες δύο ερωτήσεις αφορούσαν τη σωματιδιακή σύσταση ενώσεων (μόρια, ιόντα, άτομα) που συμμετέχουν στις υπό εξέταση αντιδράσεις. Παρατηρήσαμε ότι οι διαφορές των δύο ομάδων ήταν σημαντικές αλλά όχι πολύ μεγάλες, όπως σε άλλες ερωτήσεις.

Γ) Οι ερωτήσεις 3, 4 και 5 αφορούσαν τη σωματιδιακή σύσταση ενώσεων σε υδατικά διαλύματα. Στην ερώτηση 4 που εξετάζεται το υδατικό διάλυμα ενός άλατος, χωρίς όμως

να συνδυάζεται με υπομικροσκοπική αναπαράσταση, η διαφορά πάλι δεν ήταν πολύ μεγάλη. Στις ερωτήσεις όμως 3 και 5 που εξετάζεται η σωματιδιακή σύσταση ενός οξέος και ενός άλατος αντίστοιχα, σε υδατικό διάλυμα και ζητείται να επιλεγεί η κατάλληλη υπομικροσκοπική αναπαράσταση που περιγράφει τα σωματίδια στο διάλυμα, η διαφορά των δύο ομάδων αυξάνεται. Είναι γενικά παραδεκτό ότι πολλές παρανοήσεις και αδυναμίες προέρχονται από την αδυναμία οπτικοποίησης της Χημείας υπομικροσκοπικά και στον ελλιπή συσχετισμό εννοιών της Χημείας με το υπομικροσκοπικό επίπεδο. Οι μαθητές της Πειραματικής ομάδας εξασκήθηκαν στις υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις κατά τη διδασκαλία των αντιδράσεων και εξοικειώθηκαν με το επίπεδο αυτό. Έτσι απέκτησαν μια καλύτερη κατανόηση των εννοιών που είχαν να αντιμετωπίσουν.

Δ) Οι επόμενες ερωτήσεις, 6 έως και 10 εξετάζουν το φαινόμενο μιας αντίδρασης διπλής αντικατάστασης ή εξουδετέρωσης.

i) Η ερώτηση 8 εξετάζει το τι συμβαίνει κατά την αντίδραση εξουδετέρωσης. Η εξουδετέρωση είναι η μοναδική περίπτωση αντίδρασης που οι μαθητές της παραδοσιακής μεθόδου την προσεγγίζουν κατά τη διδασκαλία, έστω και αποσπασματικά και με ιοντική εξίσωση, συμπληρωματικά με τη μοριακή. Αυτό εξηγεί γιατί η διαφορά των δύο ομάδων δεν είναι πολύ μεγάλη.

ii) Οι ερωτήσεις 6, 7, 9 και 10 ασχολούνται με το φαινόμενο αντιδράσεων σχηματισμού ιζήματος ή αερίου. Εδώ η διαφορές των δύο ομάδων είναι μεγάλες. Οι μαθητές που διδάχτηκαν το συγκεκριμένο αντικείμενο με την προτεινόμενη μέθοδο διδασκαλίας, φαίνεται ότι αποκτούν μια βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου των αντιδράσεων αυτών. Απαντούν πιο σωστά σε ερωτήσεις που αφορούν α) το ποιες είναι οι πραγματικές μεταβολές που συμβαίνουν σε μια τέτοια αντίδραση και με ποιο τρόπο συμβαίνουν (ερωτήσεις 6 και 9), β) το ποια είναι τα σωματίδια που υπάρχουν στο διάλυμα μετά την πραγματοποίηση της αντίδρασης (ερωτήσεις 7 και 10). Ενώ οι μαθητές της ομάδας Ελέγχου έχουν μειωμένη «αναπαραστατική ικανότητα» κατά Kozma & Russell⁴ για την έννοια της χημικής αντίδρασης, καθώς έχουν περιορισμένη ικανότητα μετάβασης από μια αναπαράσταση σε άλλη, αποδίδοντας λανθασμένα νοήματα σε επιστημονικά σύμβολα.

iii) Ειδική μνεία θα κάνουμε στα αποτελέσματα της ερώτησης 10. Στην ερώτηση αυτή εξητείτο από τους μαθητές να κινηθούν ανάμεσα στο μακροσκοπικό, στο συμβολικό και στο υπομικροσκοπικό επίπεδο. Η ικανότητα αυτή θεωρείται από τους ερευνητές της διδακτικής της Χημείας, απόδειξη απόκτησης επιστημονικής αντίληψης του αντικειμένου και αποτελεί κριτήριο βαθύτερης κατανόησης της εξεταζόμενης έννοιας. Η υπεροχή της Πειραματικής ομάδας στην ερώτηση αυτή ήταν η μεγαλύτερη που υπήρξε ανάμεσα σε

όλα τα αποτελέσματα. Συνεπώς οδηγούμαστε στο ίδιο συμπέρασμα με άλλους ερευνητές^{35,73}, ότι δηλαδή αν δοθεί έμφαση στο υπομικροσκοπικό επίπεδο, τότε βελτιώνεται η απόδοση των μαθητών σε όλα τα επίπεδα της Χημείας (μακροσκοπικό, υπομικροσκοπικό και συμβολικό)

Σχετικά με τις παρανοήσεις που εντοπίστηκαν και σχολιάζονται στη ανάλυση των επιμέρους ερωτήσεων (υποκεφάλαιο 4.4), πρέπει να σημειωθεί ότι οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, επειδή δεν είναι ερωτήσεις ανοικτού τύπου, δεν επιτρέπουν να εμφανιστούν όλες οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, παρά μόνο αυτές που περιλαμβάνονται στις λανθασμένες επιλογές ή υποκρύπτονται σε αυτές.

Όσον αφορά τις συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος του σχολικού έτους 2020-21, έτος διεξαγωγής της έρευνας, τα σχολεία ήταν κλειστά λόγω της πανδημίας Covid-19 και τα μαθήματα διεξάγονταν με τη μέθοδο της σύγχρονης εξ' αποστάσεως διδασκαλίας. Σε αυτό το πλαίσιο λοιπόν, διεξήχθη η συμπλήρωση του γνωστικού «τεστ πριν» αλλά και η διδασκαλία των υπό μελέτη αντιδράσεων, όχι όμως η συμπλήρωση του γνωστικού «τεστ μετά», η οποία έγινε δια ζώσης. Είναι προφανές ότι ο σχεδιασμός των μαθημάτων πήρε υπόψη ότι αυτά θα γίνονταν με τη μέθοδο της εξ αποστάσεως διδασκαλίας και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν προσαρμοσμένα σε αυτό. Επίσης θεωρούμε ότι ο διαδικτυακός τρόπος συμπλήρωσης του pretest επηρέασε τα αποτελέσματα γενικότερα της έρευνας. Για παράδειγμα θεωρούμε πιθανό ότι θα είχαμε καλύτερα αποτελέσματα στο pretest αν αυτό γινόταν δια ζώσης. Όπως ότι και το μαθησιακό αποτέλεσμα των μαθημάτων θα ήταν καλύτερο και για τις δύο ομάδες αν γίνονταν δια ζώσης. Όμως αυτό είναι μια εικασία για την οποία δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι.

4.6 Συμπέρασμα

Εν κατακλείδει, μέσα από την έρευνα που διεξαγάγαμε κάτω από τις ιδιαίτερες συνθήκες της πανδημίας, διαπιστώσαμε ότι η διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης με την παραδοσιακή μέθοδο που υιοθετεί τη χρήση μοριακών εξισώσεων όντως συσκοτίζει και δημιουργεί παρανοήσεις σε δύο σημαντικά θέματα: α) τις πραγματικές μεταβολές που συντελούνται κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων και β) τη σωματιδιακή φύση των ενώσεων της χημικής αντίδρασης στο υδατικό διάλυμα. Αυτές ήταν και οι αιτίες για τη χαμηλότερη απόδοση της ομάδας Ελέγχου. Στον αντίποδα, διαπιστώσαμε ότι η διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών, εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και χημικές αναπαραστάσεις που εφαρμόστηκε στην Πειραματική ομάδα, είχε

σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Η εξοικείωση των μαθητών με αναπαραστάσεις των τριών επιπέδων Χημείας, η χρήση των υπομικροσκοπικών και μακροσκοπικών αναπαραστάσεων σε αντιστοίχιση με συμβολικές αναπαραστάσεις (τους χημικούς τύπους των αντιδρώντων και προϊόντων της χημικής εξίσωσης και τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα), προσφέρει μια βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου της χημικής αντίδρασης και μια καλύτερη γνώση της σωματιδιακής φύσης των σωμάτων που λαμβάνουν μέρος σε αυτή. Επίσης το πέρασμα από τη μοριακή εξίσωση, στην ιοντική και τέλος στην καθαρά ιοντική βοηθά τον μαθητή να διακρίνει την «πραγματική αντίδραση» που έλαβε χώρα, να διακρίνει δηλαδή τις όποιες αλλαγές πράγματι συνέβησαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η έρευνα αυτή είχε σαν σκοπό τη σύγκριση δύο μεθόδων διδασκαλίας των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης, αντικείμενο που είναι ενταγμένο στο τυπικό πρόγραμμα σπουδών των μαθητών της Α΄ λυκείου. Αυτό είχε σαν θετικό αποτέλεσμα, η διδακτική παρέμβαση να μην διαταράξει την ομαλή λειτουργία της μαθησιακής διαδικασίας αφού το θέμα της ήταν μέρος της διδακτέας ύλης των μαθητών. Την ίδια όμως στιγμή, είναι αυτό το ίδιο πλαίσιο που έθετε και κάποιους περιορισμούς στην έρευνα. Για παράδειγμα, δεν θα μπορούσε η διδασκαλία αυτού του κομματιού της ύλης - σαν περιεχόμενο ή μέθοδος στην Πειραματική ομάδα - να είναι ριζικά διαφορετική από αυτό που επίσημα έχει καθοριστεί. Τη στιγμή μάλιστα που ήταν προγραμματισμένο οι μαθητές αυτοί να αξιολογηθούν στο τέλος της σχολικής χρονιάς με θέματα από Τράπεζα θεμάτων που δεν θα έθετε ο διδάσκων (άσχετα αν αυτό τελευταία στιγμή δεν εφαρμόστηκε). Κατά συνέπεια η εκμάθηση της μοριακής εξίσωσης και στην Πειραματική ομάδα ήταν κάτι υποχρεωτική. Όμως αυτή ήταν και η δικιά μας πεποίθηση: ότι δηλαδή η διδακτική μας παρέμβαση έπρεπε να περιλαμβάνει το πέρασμα από τη μοριακή εξίσωση στην ιοντική και τέλος στην καθαρά ιοντική. Αποτελεί όμως μια μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές της διδακτικής της Χημείας και τους εκπαιδευτικούς χημικούς, να διερευνήσουν την ύπαρξη μιας αποτελεσματικής μεθόδου διδασκαλίας αυτών των αντιδράσεων μόνο με ιοντικές εξισώσεις στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα ή γενικότερα. Όπως επίσης να διερευνηθεί ποιες θα ήταν οι κατάλληλες αλλαγές και προσθήκες στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της Χημείας, ώστε η μέθοδος αυτή να είναι κατανοητή από τους μαθητές και να επιτυγχάνει τους στόχους που επεδίωξε και η δική μας διδακτική παρέμβαση. Βέβαια μια μέθοδος διδασκαλίας αποκλειστικά με ιοντικές εξισώσεις, πιθανότατα γεννά νέες εναλλακτικές ιδέες στους μαθητές, διαφορετικές από αυτές που οφείλονται στη χρήση των μοριακών εξισώσεων που εντοπίστηκαν και στην έρευνά μας. Οι εναλλακτικές αυτές ιδέες θα πρέπει να ερευνηθούν και να καταγραφούν και να γίνει η αποτίμηση του οφέλους που ενδεχομένως προκύπτει από τη χρήση μιας τέτοιας μεθόδου.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που προκύπτει στην περίπτωση που υιοθετηθεί η διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης με ιοντικές εξισώσεις, είναι το πώς και το πότε

θα πρέπει να διδαχθούν οι αντιδράσεις απλής αντικατάστασης, οι οποίες ως αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων παρουσιάζουν επιπλέον δυσκολίες. Είναι φανερό ότι η διδασκαλία τους αποκλειστικά με μοριακές εξισώσεις θα αποτελεί σε αυτή τη περίπτωση μια ασυνέπεια και ασυνέχεια του προγράμματος. Αυτό λοιπόν, ο τρόπος διδασκαλίας των αντιδράσεων απλής αντικατάστασης, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό θέμα για έρευνα. Για όλα αυτά φυσικά πρέπει να ληφθεί υπόψη και η εμπειρία άλλων εκπαιδευτικών συστημάτων που έχουν υιοθετήσει τη διδασκαλία των ιοντικών εξισώσεων. Το βέβαιο είναι, όπως ανέδειξε και η έρευνα αυτή, ότι η διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης με μοριακές εξισώσεις δημιουργεί πολλές παρανοήσεις ιδιαίτερα στο θέμα του ποια σώματα όντως αντιδρούν και μετασχηματίζονται και ποια η σωματιδιακή κατάσταση των αντιδρώντων και προϊόντων. Συνεπώς, αλλαγές είναι επιβεβλημένες.

Η συγκεκριμένη έρευνα ήταν ποσοτική και βασίστηκε σε ένα ερωτηματολόγιο με δέκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά μπορεί να εξασφαλίζουν ένα μεγαλύτερο αριθμό ερωτώμενων, άρα και απαντήσεων και μια πιο αξιόπιστη στατιστική επεξεργασία, όμως δεν βοηθούν πολύ στην ποιοτική καταγραφή όλων των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών. Οι μαθητές απαντούν στο συγκεκριμένο πλαίσιο που τους θέτουν οι τέσσερις επιλογές που έχουν στη διάθεσή τους. Και όταν δεν απαντούν σωστά, τους αποδίδουμε τις παρανοήσεις που προκύπτουν από τη λανθασμένη επιλογή τους. Δεν τους δίνεται η δυνατότητα να εξηγήσουν τις επιλογές τους. Ενώ αν η ερώτηση ήταν ανοικτού τύπου ή ακόμα περισσότερο αν η έρευνα ήταν ποιοτική και υπήρχε η δυνατότητα απευθείας συζητήσεων με τους ερωτώμενους, θα ήταν δυνατό να διατύπωναν διαφορετικές αντιλήψεις και να εντοπίζαμε κι άλλα θέματα. Θα είχε λοιπόν ιδιαίτερο ενδιαφέρον η πραγματοποίηση μιας έρευνας όπου ο διδάσκων θα εφάρμοζε με ίδιο τρόπο τις δύο μεθόδους διδασκαλίας που εφαρμόσαμε κι εμείς, σε δύο ομάδες, αλλά θα έκανε χρήση ενός διαφορετικού ερωτηματολογίου που με κάποιο τρόπο θα έδινε την ευκαιρία στον μαθητή να διατυπώσει σαφέστερα τη σκέψη του και να αιτιολογήσει τις επιλογές του. Ένας τρόπος θα ήταν το ερωτηματολόγιο να αποτελείται από ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Μέσα από τις λεκτικές περιγραφές των μαθητών και τις προτασιακές τους δηλώσεις, την ορολογία που θα χρησιμοποιούσαν και τις οπτικοποιήσεις που θα φανερώνονταν ότι έχουν σχηματίσει, θα γινόταν περισσότερο κατανοητός ο τρόπος σκέψης τους και οι επιλογές τους.

Είναι μεγάλη η συζήτηση για τα σύγκριση μεταξύ ερωτήσεων ανοικτού τύπου και κλειστού τύπου⁷⁴. Είναι γεγονός ότι και τα δύο είδη έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Γι'

αυτό έχουν προταθεί και μελετηθεί διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι. Ένας τέτοιος είναι η δημιουργία ερωτηματολογίου με *κλιμακωτές εννοιολογικές ερωτήσεις (tiered conceptual questions*⁷⁵) που είναι ζεύγη αντικειμενικών ερωτήσεων 2 επιπέδων και ζητείται στη δεύτερη ερώτηση να δοθεί μια εξήγηση σχετικά με την απάντηση που δόθηκε στην πρώτη. Με την πρώτη ερώτηση επιδιώκεται η διερεύνηση του φαινομενολογικού επιπέδου και με τη δεύτερη του εννοιολογικού επιπέδου. Παρεμφερείς είναι και οι «*Επεξηγηματικές ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής (explanation multiple choice*⁷⁴) με τις οποίες διερευνάται η κατανόηση των χημικών εννοιών και στις οποίες πάλι ο ερωτώμενος έχει τη δυνατότητα να αιτιολογήσει την απάντησή του μέσα από μια δέσμη επιλογών. Με αυτούς τους τρόπους ανιχνεύεται και η «συνέπεια στο λάθος», δηλωτική μιας λανθασμένης άποψης κι όχι μιας λανθασμένης απάντησης της στιγμής.

Έχει ήδη διευκρινισθεί ότι λόγω Covid 19, από την αρχή της σχολικής χρονιάς η διδασκαλία των μαθημάτων γινόταν με τη μέθοδο της σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας. Με αυτόν τον τρόπο έγινε και η διδακτική παρέμβαση. Μόνο η δεύτερη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου έγινε δια ζώσης αφού οι μαθητές είχαν επιστρέψει στα σχολεία. Μια επανάληψη συνεπώς της ίδιας έρευνας, η οποία θα γινόταν σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας των σχολείων, με δια ζώσης μαθήματα και με δια ζώσης συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και τις δύο φορές, θα είχε άραγε διαφορετικά αποτελέσματα; Είναι πιθανόν πως ναι, τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό. Η πανδημία, όπως και ο εγκλεισμός δημιούργησαν πολύ ιδιαίτερες συνθήκες, με επιπτώσεις στην ψυχολογία των μαθητών και στην στάση τους απέναντι στην εκπαιδευτική διαδικασία η οποία είχε αλλάξει μορφή. Αυτό σίγουρα έχει επηρεάσει και τη δική μας έρευνα. Η επανάληψη λοιπόν της έρευνας σε συνθήκες κανονικότητας θα μας βοηθούσε στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της διδακτικής μας πρότασης, της διδασκαλίας δηλαδή των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης εμπλουτισμένη με ιοντικές εξισώσεις και αναπαραστάσεις. Από την άλλη θα βοηθούσε - κάτω υπό προϋποθέσεις – και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας έναντι της δια ζώσης, στην περίπτωση που συγκρίναμε τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών μεθόδων.

Ένα άλλο σημείο που θα είχε ενδιαφέρον και θα μπορούσε να αποτελεί αντικείμενο μιας άλλης έρευνας είναι η διασταύρωση των αποτελεσμάτων ερωτήσεων που εξετάζουν την ίδια έννοια σε διαφορετικό όμως επίπεδο αναπαραστάσεων και η προσπάθεια να

βρεθούν τα αίτια στη περίπτωση των αντιφατικών απαντήσεων. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

i) Στην ερώτηση 9 περιγράφονται με λόγια το τι συμβαίνει καθ' όλη τη διάρκεια της αντίδρασης. Οι μαθητές, μέσα από την ανάγνωση των τεσσάρων περιγραφών δημιουργούν τις αντίστοιχες νοητικές εικόνες, κάνουν δηλαδή τις αντίστοιχες οπτικοποιήσεις (όταν ο νους σχηματίζει εικόνες συνηθίζεται να ονομάζονται «εσωτερικές αναπαραστάσεις»). Είναι ενδιαφέρον να εξετάσει κανείς το τι συμβαίνει με όσους μαθητές ενώ έχουν απαντήσει σωστά στην ερώτηση αυτή, την ίδια στιγμή δεν έχουν κάνει τη σωστή επιλογή στην ερώτηση 7 η οποία εξετάζει την τελική φάση της αντίδρασης. Γιατί η «εσωτερική αναπαράσταση» που σχηματίζουν από την ανάγνωση της ερώτησης 9 δεν αντιστοιχίζεται σωστά με την «εξωτερική αναπαράσταση» (αυτό που βλέπουμε) που προκύπτει από την υπομικροσκοπική αναπαράσταση της ερώτησης 7; Μήπως η αιτία είναι μια λάθος κατανόηση των λεκτικών περιγραφών της ερώτησης 9 ή αποδίδονται λανθασμένα νοήματα στην υπομικροσκοπική αναπαράσταση;

ii) Οι μαθητές που απαντούν σωστά στην ερώτηση 4, την ίδια στιγμή απαντούν σωστά και στην ερώτηση 5 η οποία ουσιαστικά εξετάζει το ίδιο θέμα; Ή δεν τα καταφέρνουν οπότε υπάρχει πρόβλημα στη μετάφραση από το συμβολικό επίπεδο στο υπομικροσκοπικό.

iii) Οι μαθητές που απαντούν σωστά στην ερώτηση 9 και δεν απαντούν σωστά στην ερώτηση 7, ή και το αντίστροφο, ποιο θέμα δεν έχουν κατανοήσει σωστά;

iv) Ποιο είναι το ποσοστό των μαθητών που ενώ απαντά σωστά στην ερώτηση 2, εντούτοις στην ερώτηση 3 επιλέγει το α ή το δ, άρα δεν γνωρίζει τον ιοντισμό των οξέων στα υδατικά τους διαλύματα;

v) Ποιο είναι το ποσοστό των μαθητών που ενώ απαντά σωστά στην ερώτηση 1, εντούτοις στην ερώτηση 2 επιλέγει το α όπου αναφέρονται τα άλατα ως ομοιοπολικές ενώσεις; Τι δεν κατανοεί σωστά στην υπομικροσκοπική αναπαράσταση του ιοντικού κρυστάλλου (επιλογή 1β) του KBr την ίδια στιγμή που σωστά την επιλέγει;

Τέτοιου είδους αντιφάσεις που αναδεικνύονται μέσα από διασταυρώσεις των απαντήσεων των μαθητών θα μπορούσαν να ήταν αντικείμενο στα πλαίσια μιας έρευνας που θα διέθετε όμως εκτός από το ποσοτικό και ένα ποιοτικό σκέλος. Θα μπορούσε δηλαδή για παράδειγμα, να σχεδιαστεί μια έρευνα η οποία θα ακολουθούσε τα στάδια του επεξηγηματικού διαδοχικού σχεδιασμού (explanatory sequential design⁷⁶): αρχικά θα συγκέντρωνε και θα ανέλυε τα ποσοτικά δεδομένα και κατόπιν με βάση αυτά, θα γινόταν μια επανεξέταση των αρχικών ερωτημάτων της ποιοτικής έρευνας. Το επόμενο βήμα θα

ήταν η ποιοτική έρευνα, η επιλογή του δείγματος της οποίας θα γινόταν με κριτήριο οι συμμετέχοντες να βοηθήσουν στο να δοθούν εξηγήσεις σε ερωτήματα, αντιφάσεις και εναλλακτικές ιδέες που θα είχαν προκύψει από την ποσοτική φάση. Στο πλαίσιο της ποιοτικής έρευνας θα μπορούσαν να ενταχθούν και ερωτήσεις στις οποίες θα εζητείτο από τους μαθητές η κατασκευή δικών τους αναπαραστάσεων σε αντιστοίχιση με άλλες που θα τους είχαν δοθεί, κάτι το οποίο απουσιάζει από τη δική μας έρευνα. Οι Zhang και Linn⁷⁷ συγκρίνοντας τα αποτελέσματα στην κατανόηση των μαθητών κατέληξαν ότι η απλή επιλογή της κατάλληλης μετάφρασης μιας αναπαράστασης είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη κατασκευή μιας αντίστοιχης από μέρους των μαθητών.

5.2 Προτάσεις για τη διδασκαλία

Η Χημεία είναι μια επιστήμη η οποία «σκέπτεται» και αναφέρεται σε τρία διακριτά αλλά και αλληλένδετα επίπεδα: το μακροσκοπικό, το συμβολικό και το υπομικροσκοπικό, σύμφωνα με το γνωστό τρίγωνο του Johnstone^{1,2}. Η ιδέα ότι η χημική γνώση μπορεί να εκπροσωπηθεί με αυτούς τους τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργεί πλέον ως παράδειγμα – περισσότερο με την φιλοσοφική έννοια που αποδίδει ο Kuhn⁷⁸ στη λέξη.

Η καθημερινή διδακτική εμπειρία στα σχολεία αλλά και η έρευνα διεθνώς, δείχνουν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται στην κατανόησή της Χημείας. Ένας σημαντικός λόγος είναι ότι για να εξηγηθούν οι περισσότερες έννοιες και φαινόμενα του σώματος της Χημείας, εν τέλει πρέπει να αναφερθούμε στον μικρόκοσμο. Όμως ο μικρόκοσμος δεν προσεγγίζεται (τουλάχιστον προς το παρόν) με τις αισθήσεις μας, αλλά μόνο νοητικά με μια οπτικοποίηση που γίνεται με τον νου, δημιουργώντας μια εσωτερική αναπαράσταση⁸.

Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο μαθητής αποδεικνύονται σημαντικές κατά την εκμάθηση των χημικών αντιδράσεων αφού αποτελούν αντικείμενο φορτισμένο με πολλές διαφορετικές έννοιες και γι' αυτό συγκεντρώνει ένα πλήθος παρανοήσεων από μέρους των μαθητών⁵⁴. Αυτό επιβεβαίωσε και η δικιά μας έρευνα. Η ερμηνεία και κατανόησή τους απαιτούν από τον μαθητή να μπορεί να κινηθεί και στα τρία επίπεδα Χημείας, κατ' αρχήν διακριτά και στη συνέχεια να αντιληφθεί και να κατανοήσει τη σύνδεση των τριών επιπέδων και το γεγονός ότι αναφέρονται και τα τρία στο ίδιο φαινόμενο^{7,79}. Αυτό ακριβώς είναι το πρώτο από τα δύο βασικά συστατικά της διδακτικής μας πρότασης που αφορά τη διδασκαλία των αντιδράσεων διπλής αντικατάστασης και εξουδετέρωσης: ότι εξασκεί τον μαθητή στο να κινείται ανάμεσα στα τρία επίπεδα με την χρήση αντίστοιχων αναπαραστάσεων και προτείνει αυτό να γίνεται, εάν είναι δυνατό, σε όλο το φάσμα της

ύλης και φυσικά κατά τη διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών. Η πρόταση αυτή έχει διατυπωθεί διεθνώς από πολλούς επιστήμονες εδώ και χρόνια αλλά θεωρούμε ότι για την διδασκαλία της Χημείας στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα αποτελεί μια αναγκαιότητα. Σε αυτό το πλαίσιο υιοθετούμε πλήρως τις προτάσεις των Γκίτζια, Σάλτα και Τζουγκράκη³⁶ (βλέπε τέλος της παραγράφου 1.5), οι οποίες θεωρούμε ότι συμβάλλουν στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης του μαθήματος της Χημείας.

Το δεύτερο βασικό συστατικό της πρότασής μας προκύπτει από τη διαπίστωση αυτής της έρευνας - ότι η διδασκαλία των αντιδράσεων αυτών με μοριακές εξισώσεις συσκοτίζει κυρίως τις πλευρές εκείνες του θέματος που αφορούν τη σωματιδιακή φύση αντιδρώντων και προϊόντων, το ποιες είναι οι πραγματικές μεταβολές που πραγματοποιούνται, άρα και τους λόγους πραγματοποίησης της αντίδρασης. Προτείνουμε συνεπώς η διδασκαλία τους να περιέχει το πέρασμα από την μοριακή εξίσωση στην ιοντική και τέλος στην καθαρά ιοντική. Αυτά είναι τα δύο βασικά στοιχεία που περιέχει η διδακτική μας πρόταση και που εφαρμόστηκαν κατά τη διδασκαλία της πειραματικής ομάδας. Τα αποτελέσματα μάς δικαίωσαν.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Εμείς που βρισκόμαστε σε συνεχή επαφή με τους μαθητές μας και η διδασκαλία της Χημείας αποτελεί μια καθημερινή μας πρακτική, αισθανόμαστε ότι υπάρχει ανάγκη να πραγματοποιηθούν σοβαρές αλλαγές στη χημική εκπαίδευση. Πολλές από αυτές ξεπερνούν τις δυνατότητες ενός εκπαιδευτικού γιατί έχουν να κάνουν με προβλήματα ευρύτερα κοινωνικά ή με θέματα που πρέπει να ρυθμίσει η πολιτεία. Σε αυτές όμως που μπορούμε, ας προσπαθήσουμε. Για να πάψει η Χημεία να είναι ένα βαρετό μάθημα, γεμάτο τύπους, περίεργα ονόματα και ακαταλαβίστικα σύμβολα. Για να έχουμε πολλά παιδιά σαν τη Βαρβάρα, τη μαθήτριά μου της Α΄ λυκείου που είπε στη μητέρα της: «Αχ μάνα, εσύ δεν καταλαβαίνεις. Τα πάντα είναι Χημεία!».

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας 41: Πίνακας Ορολογίας

visual imagery	οπτική απεικόνιση
mental imagery	νοητική εικόνα
visual perception	οπτική αντίληψη
ball and stick	μοντέλο σφαίρας-ράβδου
Van der Waals spheres	χωροπληρωτικό μοντέλο
stick	μοντέλο ράβδων
wireframe	μοντέλο σύρμα
Protein Data Bank, PDB	Τράπεζα δεδομένων πρωτεϊνών
QSAR	μοντέλα συσχέτισης δομής-δραστικότητας
Computer aided drug design, CADD	Σχεδιασμός φαρμάκων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή
interactive 3D animation	Διαδραστικά τρισδιάστατα κινούμενα σχέδια
3D illustration	τρειςδιάστατη απεικόνιση
meaningfull learning	μάθηση με κατανόηση
metavisualization	μεταοπτικοποίηση
total ionic equation	ολική ιοντική εξίσωση
net ionic equation	καθαρά ιοντική εξίσωση
Hawthorne effect	φαινόμενο Χόθορν
reactivity	αντιδραστικότητα
Quasi-Experimental design	οιονεί πειραματικό σχέδιο
pretest	προέλεγχος
posttest	μετα-έλεγχος
the nonequivalent control group design	σχέδιο της μη ισοδύναμης ομάδας ελέγχου
Chinese Chemical Society	Κινεζική Χημική Εταιρεία
systematic variation	συστηματική μεταβλητότητα
skewness	λοξότητα
kurtosis	κύρτωση
T-test Independent samples	Ελεγχος t ανεξάρτητων δειγμάτων
tiered conceptual questions	κλιμακωτές εννοιολογικές ερωτήσεις
explanation multiple choice	Επεξηγηματικές ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής
explanatory sequential design	επεξηγηματικός διαδοχικός σχεδιασμός


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ερωτηματολόγιο


Αγόρι Κορίτσι

Το ερωτηματολόγιο που ακολουθεί περιλαμβάνει δέκα ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Παρακαλώ, σε κάθε ερώτηση να επιλέξετε προσεκτικά μία απάντηση από τις τέσσερις προτεινόμενες, αυτή που θεωρείτε σωστή. Ευχαριστώ πολύ για τη συμμετοχή.


1) Στην δεξιά εικόνα φαίνεται ένα κουτάλι με στερεό βρωμιούχο κάλιο (KBr) που είναι άλας. Ποια από τις παρακάτω αναπαραστάσεις απεικονίζει πληρέστερα την ουσία στο κουτάλι; Δίνονται οι συμβολισμοί:




άτομο καλίου,




ίόν καλίου,

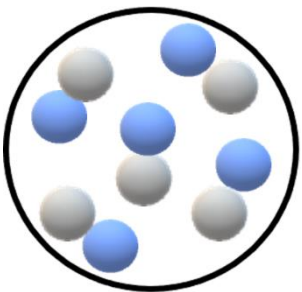
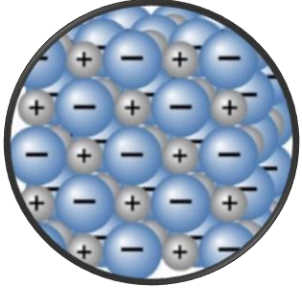
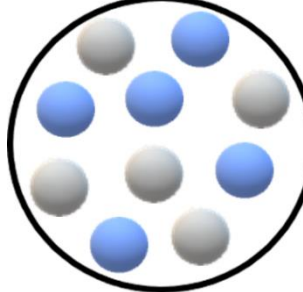
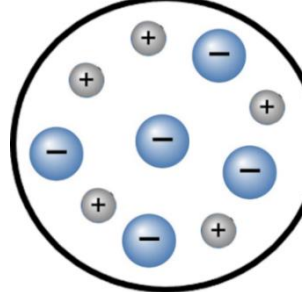


άτομο βρωμίου,








ίόν βρωμίου

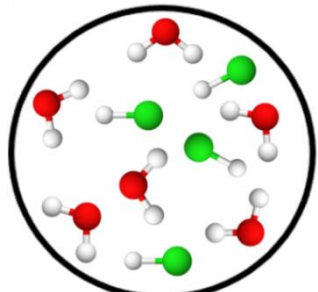
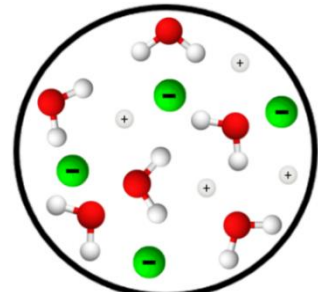
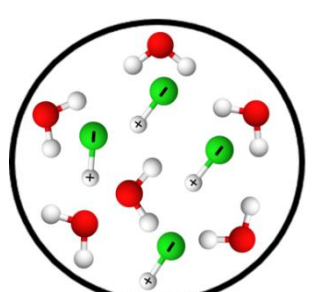
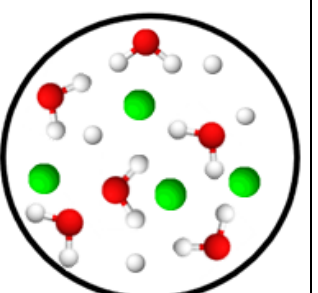


			
α	β	γ	δ

2) Να επιλέξετε τη σωστή πρόταση:

- α)** Τα οξέα είναι ιοντικές ενώσεις. Τα υδροξείδια των μετάλλων και τα άλατα είναι ομοιοπολικές.
β) Τα υδροξείδια των μετάλλων και τα άλατα είναι ιοντικές. Τα οξέα είναι ομοιοπολικές.
γ) Τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις. Τα οξέα και τα υδροξείδια των μετάλλων είναι ομοιοπολικές.
δ) Τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα είναι ιοντικές ενώσεις.






3) Ποια από τις εικόνες απεικονίζει καλύτερα το υδατικό διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος ($HCl_{(aq)}$); Δίνονται οι συμβολισμοί:  άτομο χλωρίου,  ίόν χλωρίου,  μόριο νερού,  άτομο υδρογόνου,  ίόν υδρογόνου. Το HCl είναι ισχυρό οξύ

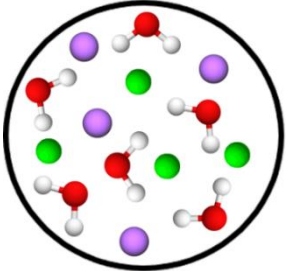
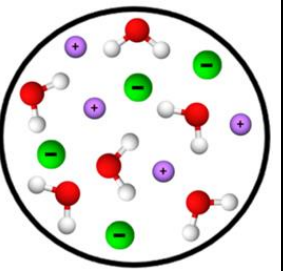
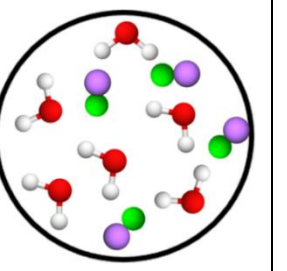
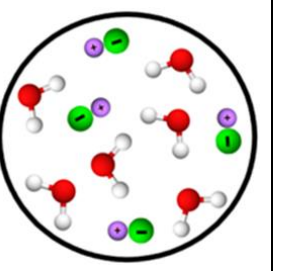
			
α	β	γ	δ

4) Να επιλέξετε την σωστή πρόταση: Όταν το νιτρικό κάλιο (KNO_3), που είναι ένα ευδιάλυτο άλας, διαλύεται μέσα στο νερό, τότε μέσα σε αυτό βρίσκεται με τη μορφή

- α)** ατόμων καλίου, αζώτου και οξυγόνου που κινούνται σε αυτό.
β) μορίων KNO_3 που κινούνται μέσα στο νερό.
γ) ιόντων K^+ και NO_3^- που δημιουργήθηκαν από τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τα άτομα K στην πολυατομική ομάδα NO_3 όταν τα μόρια του αλατιού διαλύθηκαν στο νερό.
δ) ιόντων K^+ και NO_3^- που απομακρύνθηκαν από τον ιοντικό κρύσταλλο όταν το αλάτι διαλύθηκε στο νερό

5) Ποιο από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει τα σωματίδια που υπάρχουν στο $\text{NaCl}_{(aq)}$ (αλατόνερο)

Δίνονται οι συμβολισμοί:  άτομο χλωρίου,  ιόν χλωρίου  μόριο νερού  άτομο νατρίου  ιόν νατρίου









			
α	β	γ	δ



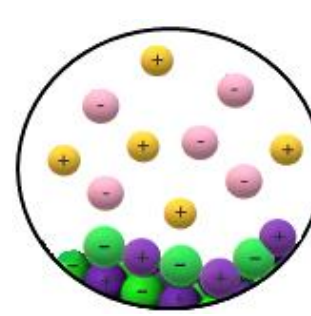
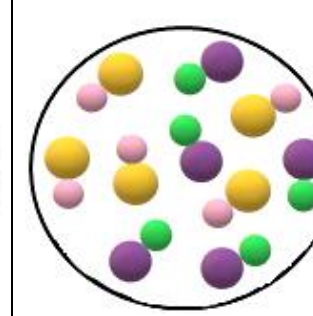
6) Κατά την χημική αντίδραση $\text{AgNO}_{3(aq)} + \text{NaCl}_{(aq)} \rightarrow \text{AgCl}_{(s)} + \text{NaNO}_{3(aq)}$ παράγεται το ίζημα του AgCl διότι

- α) Τα άτομα του Ag και του Cl που υπάρχουν στο διάλυμα ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μόρια AgCl .
- β) Τα ανιόντα Cl^- αποφορτίζονται μεταφέροντας το επιπλέον ηλεκτρόνιό τους στα κατιόντα Ag^+ που με αυτόν τον τρόπο αποφορτίζονται και αυτά. Έτσι δημιουργούνται άτομα Ag και Cl που ενώνονται και σχηματίζουν το ίζημα.
- γ) Ιόντα Ag^+ και ιόντα Cl^- που υπάρχουν στο διάλυμα έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις με τελικό αποτέλεσμα να σχηματίζουν τον δυσδιάλυτο ιοντικό κρύσταλλο του AgCl .
- δ) Μόρια AgNO_3 συγκρούονται με μόρια NaCl , με αποτέλεσμα τον σχηματισμό νέων μορίων του AgCl και του NaNO_3 .

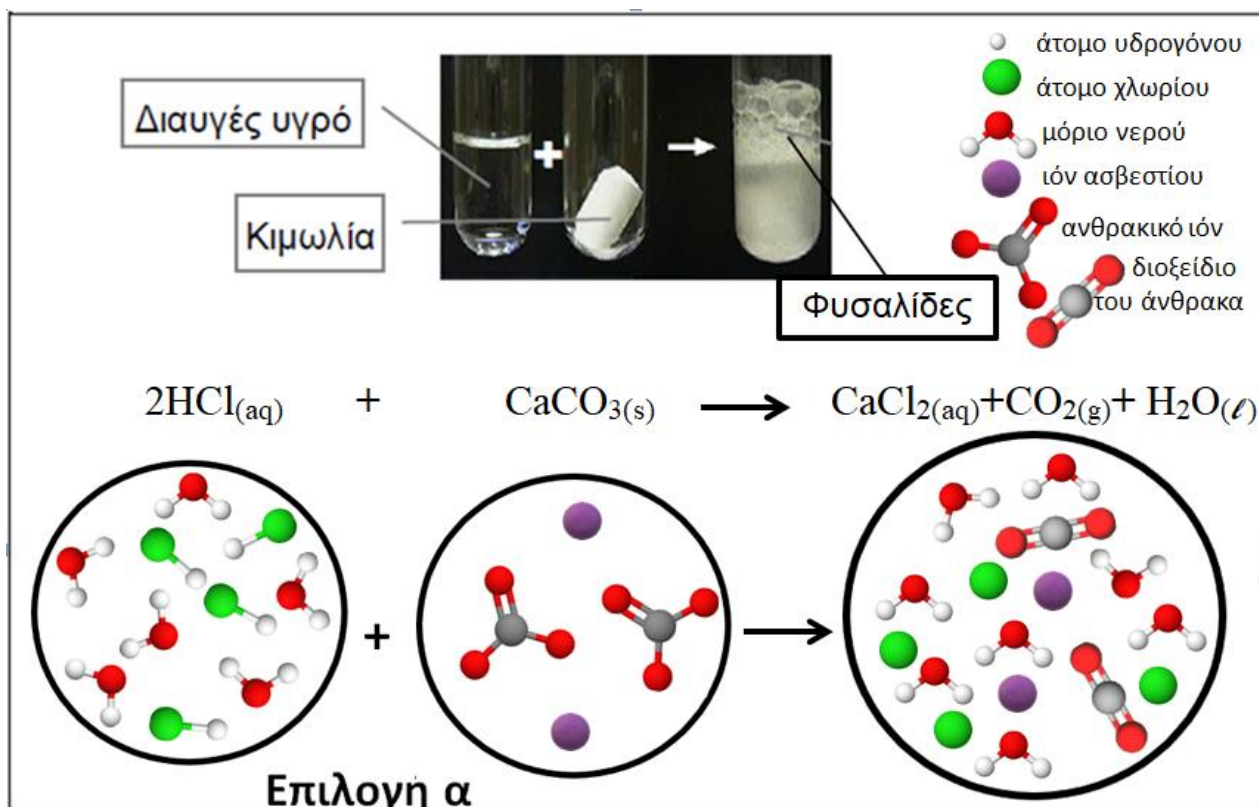
7) Οι χημικές ενώσεις AgF , NaCl και NaF είναι ευδιάλυτες στο νερό, ενώ ο AgCl είναι δυσδιάλυτος. Αναμιγνύουμε δυο υδατικά διαλύματα AgF και NaCl , τα οποία αντιδρούν πλήρως μεταξύ τους, σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{AgF}_{(aq)} + \text{NaCl}_{(aq)} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{NaF}_{(aq)}$

Ποιο από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει πιο πιστά τα σωματίδια των προϊόντων που υπάρχουν στο δοχείο. Να ληφθεί υπόψη ότι και στα 4 δοχεία υπάρχουν μόρια νερού που δεν απεικονίζονται.

Δίνονται οι συμβολισμοί: άτομο φθορίου , ιόν φθορίου , άτομο αργύρου , ιόν αργύρου , άτομο χλωρίου , ιόν χλωρίου , άτομο νατρίου , ιόν νατρίου 

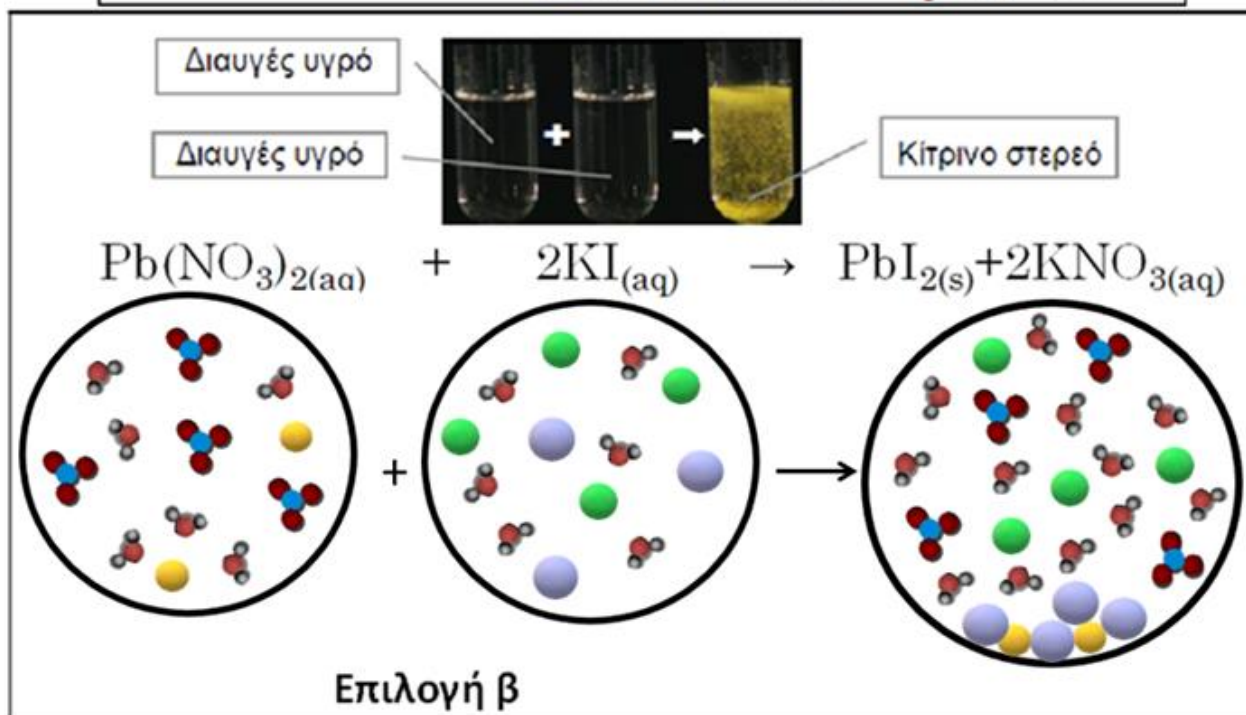
			
α	β	γ	δ






- 8) Κατά την αντίδραση εξουδετέρωσης ενός οξέος και μιας βάσης σε υδατικό διάλυμα
- α) μόρια του οξέος αντιδρούν με τα μόρια της βάσης και παράγουν μόρια άλατος και νερού.
 - β) τα άτομα του υδρογόνου που προέρχονται από το οξύ και υπάρχουν μέσα στο διάλυμα, ενώνονται με τα ιόντα υδροξειδίου από τη βάση για να σχηματίσουν μόρια νερού.
 - γ) κατιόντα H^+ που προέρχονται από το οξύ αντιδρούν με ανιόντα OH^- που προέρχονται από τη βάση για να σχηματίσουν μόρια νερού.
 - δ) τα άτομα του υδρογόνου που προέρχονται από το οξύ ενώνονται με τα άτομα οξυγόνου και υδρογόνου που προέρχονται από τη βάση, για να σχηματίσουν μόρια νερού.
- 9) Κατά την πραγματοποίηση της αντίδρασης $AgF_{(aq)} + NaCl_{(aq)} \rightarrow AgCl \downarrow + NaF_{(aq)}$
- α) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ιόντων. Έτσι ανάμεσα στα μόρια του νερού κινούνται τα ιόντα Ag^+ , F^- , Na^+ και Cl^- . Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί τα ιόντα του Ag^+ και του Cl^- έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις, σχηματίζοντας τον δυσδιάλυτο ιοντικό κρύσταλλο του $AgCl$.
 - β) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή μορίων που αποτελούνται από ζεύγη ατόμων. Κατά την αντίδραση τα άτομα ανταλλάσσουν μεταξύ τους ταίρι και σχηματίζονται έτσι νέα ζεύγη ατόμων που είναι τα νέα μόρια των προϊόντων. Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί το προϊόν $AgCl$ είναι ίζημα.
 - γ) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ζευγών από ιόντα. Ο Ag^+ με το F^- και το Na^+ με το Cl^- . Κατά την αντίδραση τα ιόντα ανταλλάσσουν μεταξύ τους ταίρι και σχηματίζονται έτσι νέα ζεύγη ιόντων που είναι τα προϊόντα. Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί το προϊόν $AgCl$ είναι ίζημα.
 - δ) τα αντιδρώντα βρίσκονται μέσα στο νερό με τη μορφή ιόντων. Έτσι ανάμεσα στα μόρια του νερού κινούνται τα ιόντα Ag^+ , F^- , Na^+ και Cl^- . Η αντίδραση πραγματοποιείται γιατί τα ιόντα του Ag^+ και του Cl^- που έλκονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις, ενώνονται και σχηματίζουν τα μόρια της δυσδιάλυτης ένωσης του $AgCl$.
- 10) Καθεμία από τις 4 παρακάτω επιλογές, περιλαμβάνει: i) μια φωτογραφία, ii) τη χημική εξίσωση μιας αντίδρασης, iii) μια αναπαράσταση με σωματίδια (άτομα, μόρια, ιόντα). Σε ποια από τις 4 επιλογές, η φωτογραφία, η χημική εξίσωση και η αναπαράσταση αντιστοιχούν στην ίδια χημική αντίδραση;



Δίνονται οι συμβολισμοί:

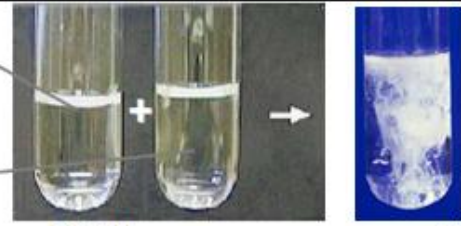
- ión ιωδίου
- ión καλίου
- μόριο νερού
- ión μολύβδου (Pb)
- νιτρικό ίον



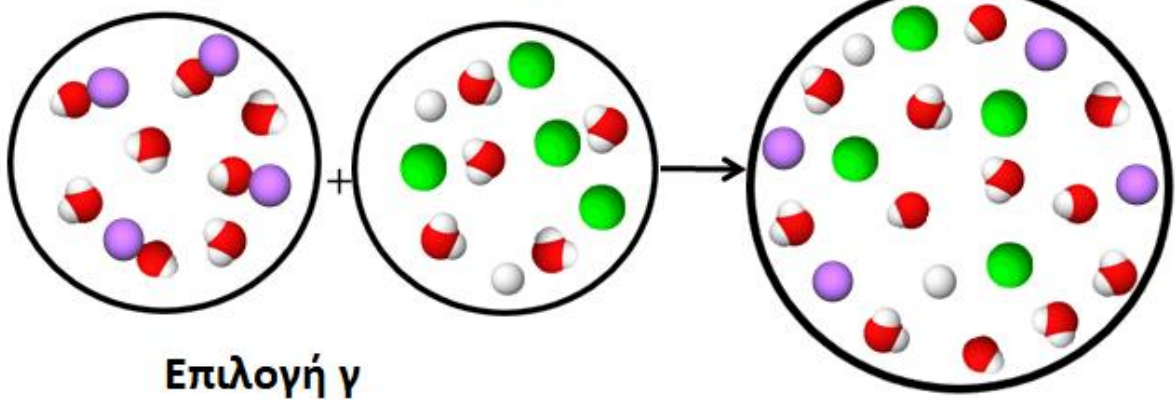
Δίνονται οι συμβολισμοί:  άτομο ή ιόν νατρίου,  υδροξείδιο,  μόριο νερού,  ιόν μαγνησίου,  ιόν χλωρίου

Διαυγές υγρό






Διαυγές υγρό



Λευκό ίζημα

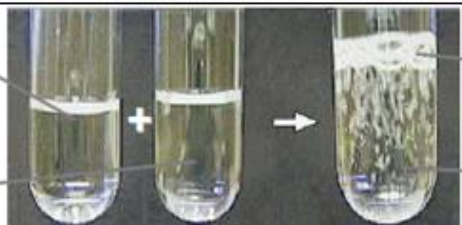


Επιλογή γ

Δίνονται οι συμβολισμοί:  ιόν υδρογόνου,  ιόν χλωρίου,  μόριο νερού,  ιόν υδροξείδιου,  ιόν νατρίου

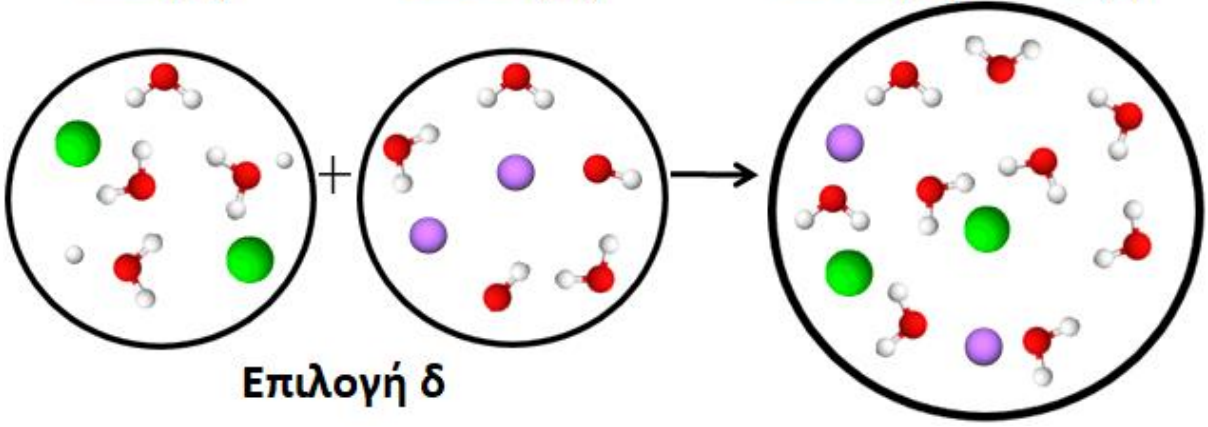
Διαυγές υγρό

Διαυγές υγρό



Φυσαλίδες

Διαυγές υγρό



Επιλογή δ

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Johnstone, A. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *J Chem Educ* **70**, 701–705 (1993).
2. Johnstone, A. H. You Can't Get There from Here. *J Chem Educ* **87**, 22–29 (2010).
3. Σάλτα, Κ. Διδακτική-Σημειώσεις μαθήματος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα ΔιΧηNET-EAA (2019).
4. Kozma, R. & Russell, J. Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. in *Visualization in Science Education* 121–145 (Springer Netherlands, 2005). doi:10.1007/1-4020-3613-2_8.
5. Anderson, W. C. *Between the Library and the Laboratory: The Language of Chemistry in Eighteenth-Century France*. (The Johns Hopkins University Press, 1984).
6. Hoffmann, R. & Laszlo, P. Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English* **30**, 1–16 (1991).
7. Γκίτζια, Β. Διερεύνηση της Ικανότητας Μαθητών και Φοιτητών να Μεταφράζουν Χημικές Αναπαραστάσεις Διαφορετικού Τύπου. Ανάδειξη των Αντιλήψεών τους για Βασικές Χημικές Έννοιες. (ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 2013).
8. Gilbert, J. K. VISUALIZATION: A METACOGNITIVE SKILL IN SCIENCE AND SCIENCE EDUCATION. in *Visualization in Science Education. Models and Modeling in Science Education* (ed. Gilbert, John. K.) vol. 1 9–27 (2005).
9. Chambers, D. & Reisberg, D. *Can Mental Images Be Ambiguous? Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* vol. II (1985).
10. Habraken, C. L. Perceptions of Chemistry: Why is the Common Perception of Chemistry, the Most Visual of Sciences, So Distorted? *J Sci Educ Technol* **5**, 193–201 (1996).
11. Κόκκοτας, Π. Β. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - Η εποικοδομητική προσέγγιση της διδασκαλίας και της μάθησης. (Ιδιωτική έκδοση, 1998).

12. Shuell, T. Cognitive psychology and conceptual change. Implications For teaching science. *Sci Educ* **71**, 239–250 (1987).
13. Τζουγκράκη, Χ. Ειδικά Θέματα και Πειράματα Οργανικής Χημείας και Βιοχημείας-Σημειώσεις μαθήματος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα ΔιΧηNET-EAA (2019).
14. Μαυρομούστακος, Θ. Ειδικά Θέματα και Πειράματα Οργανικής Χημείας και Βιοχημείας-Σημειώσεις μαθήματος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα ΔιΧηNET-EAA (2019).
15. Δημόπουλος, Β. & Τσαντίλη-Κακουλίδου, Α. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Φαρμάκων. (2015).
16. Gilbert, J. K. Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. in *Visualization in Science Education. Models and Modeling in Science Education* (eds. Gilbert, J., Reiner, M. & Nakhleh, M.) vol. 3 3–24 (2008).
17. Talanquer, V. Chemistry education: Ten dichotomies we live by. *Journal of Chemical Education* vol. 89 1340–1344 Preprint at <https://doi.org/10.1021/ed300150r> (2012).
18. Wu, H. K. & Shah, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education* vol. 88 465–492 Preprint at <https://doi.org/10.1002/sce.10126> (2004).
19. Korakakis, G., Pavlatou, E. A., Palyvos, J. A. & Spyrellis, N. 3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece. *Comput Educ* **52**, 390–401 (2009).
20. Καλογερόπουλος, Ν., Δαλακώστα, Κ., Κορακάκης, Γ. & Παυλάτου, Ε. Τα ψηφιακά παιχνίδια ως διδακτικά εργαλεία για την εκπαίδευση των μαθητών του Δημοτικού και του Γυμνασίου στο μάθημα της Χημείας. in *7ο Πανελλήνιο Συνέδριο των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη»* (eds. Γκλέζου, Κ., Σωτηρίου, Σ. & Τζιμόπουλος, Ν.) vol. 21 (2013).

21. Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *Int J Sci Educ* **25**, 1353–1368 (2003).
22. Gkitzia, V., Salta, K. & Tzougraki, C. Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chem. Educ. Res. Pract* **21**, 307 (2020).
23. Ζούπα, Σ. Οι ζωγραφιές των μαθητών ως αναπαραστάσεις των αντιλήψεών τους για τις έννοιες χημικό στοιχείο, χημική ένωση, χημική αντίδραση. (ΕΚΠΑ, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΔιΧηNET, 2012).
24. Keig, P. F. & Rubba, P. A. Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *J Res Sci Teach* **30**, 883–903 (1993).
25. Taber, K. S. Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic thinking? *School Science Review* (1997).
26. Krajcik, J. Developing Student's Understanding of Chemical Concepts. in *The Psychology of Learning Science* (eds. Glynn, S. M., Yanny, R. H. & Britton, B. K.) 117–145 (Routledge, 1991). doi:10.4324/9780203052396.
27. Ausubel, D. *Educational Psychology. A Cognitive View*. (Reinhart, 1968).
28. Chittleborough, G. & Treagust, D. Correct Interpretation of Chemical Diagrams Requires Transforming from One Level of Representation to Another. *Res Sci Educ* **38**, 463–482 (2008).
29. Stains, M., Talanquer, V., Bunce, D. M. & Williamson, V. M. A 2 : Element or Compound? *W Chemical Education Research. Journal of Chemical Education* • vol. 84 www.JCE.DivCHED.org (2007).
30. Stains, M. & Talanquer, V. Classification of chemical substances using particulate representations of matter: An analysis of student thinking. *Int J Sci Educ* **29**, 643–661 (2007).
31. Adbo, K. & Taber, K. S. Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old swedish science students. *Int J Sci Educ* **31**, 757–786 (2009).

32. Robinson, W. R. Chemical Education Today 10. *Journal of Chemical Education* • **81**, (2004).
33. Mayer, R. E. Cognitive theory and the design of multimedia instruction: An example of the two-way street between cognition and instruction. *New Directions for Teaching and Learning* **2002**, 55–71 (2002).
34. Smith, K. J. & Metz, P. A. Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *J Chem Educ* **73**, 233–235 (1996).
35. Sanger, M. J. *Using Particulate Drawings to Determine and Improve Students' Conceptions of Pure Substances and Mixtures*. *Journal of Chemical Education* • vol. 77 <https://pubs.acs.org/sharingguidelines> (2000).
36. Γκίτζια, Β., Σάλτα, Κ. & Τζουγκράκη Χ. Η κατασκευή μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων από τους μαθητές ως δείκτης της εννοιολογικής κατανόησης στη χημεία. in *Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (eds. Ψύλλος, Δ., Μολοχίδης, Α. & Καλλέρη, Μ.) 179–184 (2015).
37. Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & de Leeuw, N. From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learn Instr* **4**, 27–43 (1994).
38. Harrison, A. G. & Treagust, D. F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Sci Educ* **80**, 509–534 (1996).
39. Harrison, A. G. & Treagust, D. F. Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Sci Educ* **84**, 352–381 (2000).
40. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π. & Κάλλης Αναστάσιος. *Χημεία Α' Λυκείου*. (ΟΕΔΒ, 2000).
41. Boo, H. K. & Watson, J. R. Progression in high school students' (aged 16-18) conceptualizations about chemical reactions in solution. *Sci Educ* **85**, 568–585 (2001).

42. Lu, S., Bi, H. & Liu, X. A phenomenographic study of 10th grade students' understanding of electrolytes. *Chemistry Education Research and Practice* **20**, 204–212 (2019).
43. Naah, B. M. & Sanger, M. J. Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice* **13**, 186–194 (2012).
44. Smith, K. J. & Metz, P. A. Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *Journal of Chemical Education* vol. 73 233–235 Preprint at <https://doi.org/10.1021/ed073p233> (1996).
45. Kelly, R. M., Barrera, J. H. & Mohamed, S. C. An analysis of undergraduate general chemistry students' misconceptions of the submicroscopic level of precipitation reactions. *J Chem Educ* **87**, 113–118 (2010).
46. Πράττα, Ε. & Κουκά, Α. Η Κατανόηση της Διάλυσης της Ζάχαρης στο Νερό από τους Μαθητές του Γυμνασίου και του Λυκείου. in *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης* (eds. Σταύρου, Δ., Μιχαηλίδη, Α. & Κοκολάκη, Α.) 186–192 (2018).
47. Ebenezer, J. v & Gaskell, P. J. Relational Conceptual Change in Solution Chemistry. *Sci Educ* **79**, 1–17 (1995).
48. Lee, K.-W. L. Particulate Representation of a Chemical Reaction Mechanism. *Res Sci Educ* **29**, 401–415 (1999).
49. Θεοδωρόπουλος, Π., Παπαθεοφάνους, Π. & Σιδέρη, Φ. *Χημεία Γ΄ Γυμνασίου*. (ΟΕΔΒ, 2007).
50. Βλάσση, Μ. Σύγκριση δύο διδακτικών μεθόδων: της καθοδηγούμενης διερευνητικής-ανακαλυπτικής και της παραδοσιακής ως προς τη σύσταση της ύλης και το χημικό δεσμό στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. (ΕΚΠΑ, Σχολή Θετικών Επιστημών, 2008).
51. Σχιζοδήμου, Α. Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών της Α΄ τάξης του Λυκείου όσον αφορά στο σχηματισμό και τις χημικές ιδιότητες των μορίων. Διερεύνηση της

προέλευσης και των παραγόντων διατήρησής τους. (ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΔιΧηNET, 2013).

52. Πασσιάς, Ι. Οι ιδέες μαθητών και μαθητριών Α' Λυκείου για τα ιοντικά διαλύματα και τις ιδιότητές τους. Μια διδακτική παρέμβαση με χρήση ΤΠΕ σε ένα περιβάλλον Συνδυασμένης Μορφής Μάθησης. (ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, 2010).
53. Πράττα, Ε. Η κατανόηση της διάλυσης και του νερού ως διαλύτη: Εξέλιξη των αντιλήψεων των μαθητών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. (ΕΚΠΑ, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΔιΧηNET, 2015).
54. Σάλτα, Κ. & Τζουγκράκη, Χ. Οι Δυσκολίες των Μαθητών στην Κατανόηση της Χημικής Αντίδρασης και της Διατήρησης της Μάζας. in *16ο Επιμορφωτικό Σεμινάριο Χημείας "Η διδασκαλία της Χημείας Το Παρόν και το Μέλλον* (eds. Σινάνογλου, Β. & Σιδέρη, Φ.) 16–30 (Ένωση Ελλήνων Χημικών-Τμήμα Παιδείας και Χημικής Εκπαίδευσης, 2007).
55. Γκίτζια, Β., Σάλτα, Κ. & Τζουγκράκη, Χ. Διερεύνηση της ικανότητας των μαθητών να μεταφράζουν χημικές αναπαραστάσεις για την έννοια της 'χημικής αντίδρασης'. in *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης* (eds. Σταύρου Δ., Μιχαηλίδη Α. & Κοκολάκη Α.) 698–704 (2018).
56. Γκίτζια, Β. Ο ρόλος των αναπαραστάσεων και η χρήση τους στα σχολικά εγχειρίδια. (ΕΚΠΑ, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΔιΧηNET, 2006).
57. Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. *Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας*. (ΜΕΤΑΙΧΜΙΟ, 2008).
58. Κορρές, Κ. Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας-Σημειώσεις μαθήματος, ΠΜΣ 'Επιστήμες της αγωγής' (2015).
59. Ρούσσος, Π. Μεθοδολογία Έρευνας & Στατιστική, Σημειώσεις Μαθήματος. Preprint at (2006).
60. Σάλτα, Κ. Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας-Σημειώσεις μαθήματος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα ΔιΧηNET-EAA (2019).

61. Campbell, D. T. & Stanley, J. C. *EXPERIMENTAL AND QUASI-EXPERIMENTAL DESIGNS FOR RESEARCH*. (Rand McNally & Company, 1963).
62. Shadish, W. R., Cook, T. D. & Campbell, D. T. *EXPERIMENTAL AND QUASI-EXPERIMENTAL DESIGNS FOR GENERALIZED CAUSAL INFERENCE*. (Houghton Mifflin Company, 2002).
63. Babbie, E. *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ*. (ΚΡΙΤΙΚΗ, 2011).
64. Ζαφειρόπουλος, Κ. *ΠΩΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ; ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ*. (ΚΡΙΤΙΚΗ, 2015).
65. Παρασκευόπουλος, Ι. Ν. *Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας*. vol. 2 (ΑΘΗΝΑ, 1993).
66. Kelly, R. Aqueous silver nitrate and reaction with NaCl(aq) - YouTube. *You Tube* https://www.youtube.com/watch?v=e_v0xnTSFw4&ab_channel=ResaKelly (2014).
67. Claesgens, J., Scalise, K., Wilson, M. & Stacy, A. Mapping student understanding in chemistry: The Perspectives of Chemists. *Sci Educ* **93**, 56–85 (2009).
68. Field, A. *Η διερεύνηση της ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ με τη χρήση του SPSS της IBM*. (ΠΡΟΠΟΜΠΟΣ, 2016).
69. Τούσης, Π. Έλεγχος Κανονικότητας με το spss. at https://www.youtube.com/watch?v=Jx_zmpAEm9o&t=7s&ab_channel=Pana_giotisTousis (2022).
70. Χαλικιάς, Μ., Λάλλου, Π. & Μανωλέσου, Α. *Μεθοδολογία έρευνας και εισαγωγή στη Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το IBM SPSS STATISTICS [Εργαστηριακός Οδηγός]*. (Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, 2015).
71. Ξεκαλάκη, Ε. *Μη Παραμετρική Στατιστική*. (Μπένου, 2001).
72. Μαυρίδης, Δ. *Εισαγωγή στη Στατιστική* (Coursity 2022, ΚΕΔΙΒΙΜ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων).
73. Dalton, R., Tasker, R. & Sleet, R. Research into practice: Using molecular representations as a learning strategy in chemistry. *Proceedings of Research*

and Development into University Science Teaching and Learning Workshop (2001).

74. Liu, O. L., Lee, H. S. & Linn, M. C. An investigation of explanation multiple-choice items in science assessment. *Educational Assessment* **16**, (2011).
75. Robinson, W. & Nurrenbern, S. JCE Online: CQs and ChPs: Types of CQs: Tiered Question.
<https://www.chemedx.org/JCEDLib/QBank/collection/CQandChP/CQs/TieredCQs.html>.
76. Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. *Designing and Conducting Mixed Methods Research | SAGE Publications Ltd. SAGE Publications, Inc* (2017).
77. Zhang, Z. H. & Linn, M. C. Learning from Chemical Visualizations: Comparing generation and selection. *Int J Sci Educ* **35**, 2174–2197 (2013).
78. Kuhn, T. S. *Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΕΩΝ*. (Σύγχρονα Θέματα, 2008).
79. Στεφανή, Χ. Συνοψίζοντας τα πολλαπλά επίπεδα αναφοράς της ενότητας 'χημική αντίδραση' σε ένα επαναληπτικό μάθημα, στη χημεία της Α΄ Λυκείου. in *Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες»* (eds. Πιερράτος, Θ., Κουμαράς, Π. & Πολάτογλου, Χ.) 259–263 (2016).