ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διερεύνηση της Ικανότητας Μαθητών και Φοιτητών να Μεταφράζουν Χημικές Αναπαραστάσεις Διαφορετικού Τύπου. Ανάδειξη των Αντιλήψεών τους για Βασικές Χημικές Έννοιες

ΓΚΙΤΖΙΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ
ΧΗΜΙΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διερεύνηση της Ικανότητας Μαθητών και Φοιτητών να Μεταφράζουν Χημικές Αναπαραστάσεις Διαφορετικού Τύπου. Ανάδειξη των Αντιλήψεών τους για Βασικές Χημικές Έννοιες

ΓΚΙΤΖΙΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Α.Μ.: 102617

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Τζουγκράκη Χρυσή, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:

Τζουγκράκη Χρυσή, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Καραλιώτα Αλεξάνδρα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Βοσνιάδου Στέλλα, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Τζουγκράκη Χρυσή, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Βοσνιάδου Στέλλα, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Μητσοπούλου Χριστιάνα, Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Μαυρομούστακος Θωμάς, Καθηγητής ΕΚΠΑ

Γαλανοπούλου Ντία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Κυρίτσης Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Μαυρικάκη Ευαγγελία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 05/04/2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία περιλαμβάνει την ικανότητα του ατόμου να σκέφτεται σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο, καθώς και την ικανότητα να μεταφράζει τις αντίστοιχες χημικές αναπαραστάσεις από το ένα επίπεδο στο άλλο. Στην παρούσα έρευνα εξετάσαμε την ικανότητα μαθητών Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου (ομάδα Ι) και τριτοετών φοιτητών χημείας (ομάδα ΙΙ) να μεταφράζουν αναπαραστάσεις από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο και αναδείξαμε τις αντιλήψεις τους για τις βασικές έννοιες: χημικό στοιχείο, χημική ένωση, στερεή κατάσταση, υδατικό διάλυμα και χημική αντίδραση. Η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε ήταν ο επεξηγηματικός διαδοχικός σχεδιασμός (explanatory sequential design), η οποία είναι μία μικτή μέθοδος που αποτελείται από ποσοτικό και ποιοτικό σκέλος. Για τη διεξαγωγή της ποσοτικής φάσης σχεδιάσαμε ένα ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και ανοικτού τύπου (N_I=466, N_{II}=86). Η ποιοτική φάση της έρευνας είχε τη μορφή προσωπικής ημιδομημένης συνέντευξης (N_I=15). Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, η ικανότητα μαθητών και φοιτητών να μεταφράζουν αναπαραστάσεις μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας είναι περιορισμένη και εξαρτάται από την υποκείμενη έννοια και το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση. Τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές είχαν τη χαμηλότερη επίδοση στις μεταφράσεις των αναπαραστάσεων υδατικού διαλύματος και χημικής αντίδρασης, ενώ το είδος της μετάφρασης που τους δυσκόλεψε περισσότερο ήταν από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο. Σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές απομνημονεύουν τις συμβολικές και τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, χωρίς να είναι σε θέση να τις ερμηνεύουν, να τις συσχετίζουν με τις υποκείμενες έννοιες και να τις συνδέουν μεταξύ τους. Επίσης, παρατηρείται μεγάλη δυσκολία στην οπτικοποίηση της σωματιδιακής φύσης της ύλης και στην κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διδακτική της Χημείας

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: μακροσκοπικές, μικροσκοπικές και συμβολικές χημικές αναπαραστάσεις, εννοιολογική κατανόηση, παρανοήσεις

ABSTRACT

Meaningful understanding in chemistry includes the ability to think at macroscopic, submicroscopic and symbolic level of chemistry, and the ability to translate between chemical representations. In this study we investigated the ability of 11th Grade students (group I) and 3rd year chemistry students (group II) to make translations from one level of chemistry to another and we highlighted their perceptions for the basic concepts: chemical element, chemical compound, solid state of matter, aqueous solution and chemical reaction. The method used was the sequential explanatory design, which is a mixed method consisting of quantitative and qualitative phase. For the conduct of the qualitative phase we constructed a questionnaire consisting of multiple choice and open-ended questions (N_I=466, N_{II}=86). The qualitative phase of the research had the form of personal semi structured interview (N_I=15). Our results show that students' capacity to move across the three levels of chemistry is low and varies depending on the underlying concept and the combination of levels. Both high school and undergraduate students had lower performance in translations concerning the concepts aqueous solution and chemical reaction and in translating the submicroscopic representations into the symbolic ones. In many cases students memorize the symbolic and microscopic representations, without being able to interpret them, to relate them to the underlying concepts and to link them. Also, there is great difficulty in visualizing the particle nature of matter and in constructing microscopic representations.

SUBJECT AREA: Chemistry education

KEYWORDS: macro, submicro and symbolic chemical representations, conceptual understanding, misconceptions

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια κα. Χρύσα Τζουγκράκη για την πολύπλευρη βοήθειά της, για τις πολύτιμες συμβουλές της, για την κατανόησή της και για την υποστήριξή της κατά την πορεία και το αποτέλεσμα αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής παρακολούθησης: την κα. Βοσνιάδου Στ. και την κα. Καραλιώτα Α. για τις σημαντικές συμβουλές και παρατηρήσεις τους.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής: τον κ. Μαυρομούστακο Θ., την κα. Μητσοπούλου Χρ., την κα. Γαλανοπούλου Ντ., τον κ. Κυρίτση Π. και την κα. Μαυρικάκη Ε. αφενός που δέχτηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα εργασία και αφετέρου για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κα. Κατερίνα Σάλτα για τη συνολική βοήθειά της και για την υποστήριξή της κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Εσθήρ Σακκή και την κα. Κατερίνα Πασχαλίδου για την πολύ σημαντική βοήθειά τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 19

Α. ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Οπτικοποίηση, μοντέλα & χημικές αναπαραστάσεις 23

1.1 Εισαγωγή 23

1.2 Η φύση της οπτικοποίησης 24

1.3 Η οπτικοποίηση & τα μοντέλα στην επιστήμη 26

1.3.1 Το περιεχόμενο των μοντέλων 27

1.3.2 Επιστημολογία και μοντέλα 28

1.3.3 Οντολογία και μοντέλα 29

1.3.4 Τρόποι έκφρασης των μοντέλων 30

1.4 Οι χημικές αναπαραστάσεις 31

1.4.1 Οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις 34

1.4.2 Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις 35

1.4.3 Οι συμβολικές αναπαραστάσεις 37

1.5 Η ιστορική εξέλιξη των χημικών αναπαραστάσεων & της χημείας 40

1.6 Η πολυεπίπεδη σκέψη στη χημεία 42

1.7 Ο ρόλος των χημικών αναπαραστάσεων στη διδασκαλία & τη μάθηση της χημείας 44

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Δυσκολίες με τις χημικές αναπαραστάσεις 47

2.1 Εισαγωγή 47

2.2 Κατανόηση & ερμηνεία αναπαραστάσεων 47

2.2.1 Νόημα συμβόλων 47

2.2.2 Επιφανειακά χαρακτηριστικά αναπαραστάσεων 49

2.2.3 Δυναμικές διαδικασίες 49

2.3 Μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων 51

2.4 Κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων 52

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Υποδείξεις για τη διδασκαλία της χημείας 55

3.1 Εισαγωγή 55
3.2 Έμφαση στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις 55
3.3 Πολλαπλές αναπαραστάσεις 56
3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση των πολλαπλών αναπαραστάσεων 57
3.3.2 Αντίλογος για τη χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων 60
3.4 Ικανότητες που σχετίζονται με τις αναπαραστάσεις 61
3.4.1 Αναπαραστατική ικανότητα 61
3.4.2 Μεταοπτικοποίηση 66
3.5 Η χρήση των χημικών αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια 70
3.5.1 Κριτήρια για την αξιολόγηση των χημικών αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια 72
3.5.2 Εφαρμογή των κριτηρίων 74
Β. ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: Η ΕΡΕΥΝΑ
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σκοπός και μεθοδολογία της έρευνας 79
4.1 Αναγκαιότητα της έρευνας 79
4.2 Στόχοι, υποθέσεις και ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας 81
4.3 Μεθοδολογία 83
4.3.1 Επιλογή μεθόδου 83
4.3.2 Τα ερευνητικά στάδια 84
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Διαμόρφωση του ερωτηματολόγιου 87
5.1 Αρχική διερεύνηση 87
5.1.1 Αποτελέσματα διερευνητικού ερωτηματολογίου 87
5.1.2 Συμπεράσματα διερευνητικού ερωτηματολογίου 90
5.2 Περιγραφή ερωτηματολόγιου – 1η έκδοση 90
5.3 Πιλοτική έρευνα 93
5.3.1 Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας 94
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Η ποσοτική έρευνα στους μαθητές 99
6.1 Το δείγμα 99

6.2 Δημογραφικά στοιχεία 100
6.3 Στατιστικός έλεγχος εγκυρότητας και αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου 101
6.4 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές 102
6.4.1 Ερώτηση 1 103
6.4.2 Ερώτηση 2 105
6.4.3 Ερώτηση 3 106
6.4.4 Ερώτηση 4 108
6.4.5 Ερώτηση 5 110
6.4.6 Ερώτηση 6 111
6.4.7 Ερώτηση 7 113
6.4.8 Ερώτηση 8 114
6.4.9 Ερώτηση 11 116
6.4.10 Ερώτηση 13 118
6.4.11 Ερώτηση 15 120
6.5 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές για κάθε εξεταζόμενη έννοια 122
6.5.1 Για την έννοια του «χημικού στοιχείου» 122
6.5.2 Για την έννοια της «χημικής ένωσης» 123
6.5.3 Για την έννοια του «διαλύματος» 125
6.5.4 Για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» 126
6.5.5 Για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης» 130
6.5.6 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που εξετάζουν ταυτόχρονα 2 έννοιες 132
6.5.7 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που περιέχουν συνδυασμό εννοιών 132
6.6 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές ανάλογα με τα επίπεδα μετάφρασης 133
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές 135
7.1 Το δείγμα των φοιτητών 135
7.2 Στατιστικός έλεγχος εγκυρότητας και αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου 135

7.3 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές 136
7.4 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές για κάθε εξεταζόμενη έννοια 138
7.4.1 Για την έννοια του «χημικού στοιχείου» 138
7.4.2 Για την έννοια της «χημικής ένωσης» 139
7.4.3 Για την έννοια του «διαλύματος» 141
7.4.4 Για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» 143
7.4.5 Για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης» 146
7.5 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που εξετάζουν ταυτόχρονα 2 έννοιες 147
7.6 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που περιέχουν συνδυασμό εννοιών 147
7.7 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές ανάλογα με τα επίπεδα μετάφρασης 148
8. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Ποιοτική έρευνα στους μαθητές 153
8.1 Περιγραφή ποιοτικής έρευνας 153
8.2 Αποτελέσματα ποιοτικής έρευνας στους μαθητές 153
8.2.1 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «μεταλλικού νατρίου» 153
8.2.2 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «χλωριούχου νατρίου» 156
8.2.3 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του νερού 160
8.2.4 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του αέριου οξυγόνου 165
8.2.5 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του υδατικού διαλύματος χλωριούχου νατρίου 168
8.2.6 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του υδατικού διαλύματος οξυγόνου 172
8.2.7 Ερμηνεία μικροσκοπικών αναπαραστάσεων για τις έννοιες «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» & «μίγμα» 176
8.2.8 Μεταφράσεις «μικρο→μακρο» & «μικρο→συμβο» για την έννοια του «μίγματος» 178

8.2.9 Μεταφράσεις «μικρο→συμβο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» ... 181
8.2.10 Μεταφράσεις «συμβο→μικρο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» ... 183
8.2.11Μεταφράσεις «μικρο→μακρο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» ... 186
9. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 Συμπεράσματα ... 189
9.1 Εισαγωγή ... 189
9.2 Η ικανότητα μετάφρασης μαθητών/φοιτητών ... 190
9.3 Παράγοντες που σχετίζονται με την ικανότητα μετάφρασης ... 193
9.4 Ανάδειξη αντιλήψεων των μαθητών για βασικές έννοιες χημείας ... 194
9.4.1 Για την έννοια του «χημικού στοιχείου» ... 195
9.4.2 Για την έννοια της «χημικής ένωσης» ... 196
9.4.3 Για την έννοια του «υδατικού διαλύματος» ... 199
9.4.4 Για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» ... 203
9.4.5 Για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης» ... 206
9.5 Πρόσθετα συμπεράσματα ... 208
9.6 Ανακεφαλαίωση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων ... 210
9.7 Προτάσεις ... 212
10. ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ ... 219
11. ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ... 221
12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ... 223
13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ – 1^{Η} ΕΚΔΟΣΗ ... 225
14. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ... 234
15. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ – 2^{Η} ΕΚΔΟΣΗ ... 235
16. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ ... 243
17. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ... 244
18. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ... 245
19. ΑΝΑΦΟΡΕΣ ... 251

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση του μορίου της αμμωνίας με τέσσερα διαφορετικά συμβολικά συστήματα. 32

Σχήμα 1.2: Χημικές αναπαραστάσεις του μορίου της αιθανόλης. 32

Σχήμα 1.3: Χημική αναπαράσταση δύο μορίων διχλωροαιθανίου. 33

Σχήμα 1.4: Μακροσκοπική αναπαράσταση της χημικής αντίδρασης του ιωδιούχου καλίου με το νιτρικό μόλυβδο, μέσω φωτογραφίας από εργαστηριακό πείραμα. 34

Σχήμα 1.5: Μικροσκοπικές αναπαραστάσεις του μορίου της αιθανόλης. 36

Σχήμα 1.6: Συμβολικές αναπαραστάσεις με χημικούς τύπους του μορίου του προπανίου. 38

Σχήμα 1.7: Στερεοχημικός τύπος του μορίου του μεθανίου. 39

Σχήμα 1.8: Συμβολικές αναπαραστάσεις με σύμβολο Lewis και ηλεκτρονιακό τύπο Lewis. 39

Σχήμα 1.9: Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της χημείας, όπως τα περιέγραψε ο Johnstone. 43

Σχήμα 1.10: Η σχέση ανάμεσα στα επίπεδα αναπαράστασης και στην αντιληπτή πραγματικότητα. 44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Η κατανομή του δείγματος της πιλοτικής έρευνας σύμφωνα με το φύλο των μαθητών. 94

Πίνακας 5.2: Η κατανομή του δείγματος της πιλοτικής έρευνας σύμφωνα με την κατεύθυνση σπουδών στο Λύκειο..... 94

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας. 96

Πίνακας 6.1: Τα σχολεία που συμμετείχαν στην έρευνα. 100

Πίνακας 6.2: Η κατανομή του δείγματος σύμφωνα με το φύλο των μαθητών. 100

Πίνακας 6.3: Η κατανομή του δείγματος των μαθητών σύμφωνα με την κατεύθυνση σπουδών στο Λύκειο. 101

Πίνακας 6.4: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 1. 104

Πίνακας 6.5: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 2. 106

Πίνακας 6.6: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 3. 108

Πίνακας 6.7: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 4. 109

Πίνακας 6.8: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 5. 111

Πίνακας 6.9: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 6. 112

Πίνακας 6.10: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 7… 114

Πίνακας 6.11: Κωδικοποίηση των απαντήσεων στην ερώτηση 8. 115

Πίνακας 6.12: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 8… 116

Πίνακας 6.13: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 11 118

Πίνακας 6.14: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 13 119

Πίνακας 6.15: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 15 121

Πίνακας 6.16: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις του «χημικού στοιχείου»..... 122

Πίνακας 6.17: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «χημικής ένωσης»……..... 123

Πίνακας 6.18: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής ένωσης»..... 124

Πίνακας 6.19: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις του «διαλύματος»..... 125

Πίνακας 6.20: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «χημικής αντίδρασης»….. 127

Πίνακας 6.21: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης»..... 127

Πίνακας 6.22: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης» αναφορικά με την ισοστάθμιση μάζας και τους Μ.Τ.…..... 129

Πίνακας 6.23: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «στερεής φυσικής κατάστασης». 130
Πίνακας 6.24: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «στερεής κατάστασης». 131
Πίνακας 6.25: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→μακρο». 134
Πίνακας 7.1: Η κατανομή του δείγματος των φοιτητών σύμφωνα με το φύλο. 135
Πίνακας 7.2: Κατανομή συχνότητας στους φοιτητές για κάθε ερώτηση. 137
Πίνακας 7.3: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών στις μεταφράσεις του «χημικού στοιχείου»……. 139
Πίνακας 7.4: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών στις μεταφράσεις της «χημικής ένωσης»…….. 139
Πίνακας 7.5: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής ένωσης». 140
Πίνακας 7.6: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις του «διαλύματος». 141
Πίνακας 7.7: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «διαλύματος». 142
Πίνακας 7.8: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις της «χημικής αντίδρασης».. 143
Πίνακας 7.9: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης». 144
Πίνακας 7.10: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις της «στερεής κατάστασης». 146
Πίνακας 7.11: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «στερεής κατάστασης». 146
Πίνακας 7.12: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→μακρο». 149
Πίνακας 7.13: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μακρο→μικρο». 149
Πίνακας 7.14: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→συμβο». 150
Πίνακας 7.15: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «συμβο→μικρο». 151
Πίνακας 8.1: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «μεταλλικό νάτριο»…… 154
Πίνακας 8.2: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «στερεό χλωριούχο νάτριο». 156

Πίνακας 8.3: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «νερό». 161

Πίνακας 8.4: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «αέριο οξυγόνο»……..... 166

Πίνακας 8.5: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου». 169

Πίνακας 8.6: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα οξυγόνου». 173

Πίνακας 8.7: Χαρακτηρισμός μικροσκοπικών αναπαραστάσεων ως «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» ή «μίγμα»..... 177

Πίνακας 8.8: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→μακρο» μετάφραση ενός μίγματος..... 179

Πίνακας 8.9: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→συμβο» μετάφραση ενός μίγματος..... 180

Πίνακας 8.10: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→συμβο» μετάφραση μιας χημικής αντίδρασης..... 182

Πίνακας 8.11: Αποτελέσματα «συμβο→μικρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης.... 184

Πίνακας 8.12: Αποτελέσματα «συμβο→μικρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης.... 185

Πίνακας 8.13: Αποτελέσματα «μικρο→μακρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης..... 187

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 9.1: Τα ποσοστά επιτυχίας μαθητών - φοιτητών ανά ερώτηση στην ποσοτική έρευνα 191

Διάγραμμα 9.2: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για το «χημικό στοιχείο» 196

Διάγραμμα 9.3: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για τη «χημική ένωση» 197

Διάγραμμα 9.4: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για το «υδατικό διάλυμα» 202

Διάγραμμα 9.5: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για τη «χημική αντίδραση» 204

Διάγραμμα 9.6: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για τη «στερεή κατάσταση» 208

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Χημείας, το χρονικό διάστημα 2007-2012, υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση της Καθηγήτριας κα. Χρύσας Τζουγκράκη. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 10 Γενικά Λύκεια και στο Τμήμα Χημείας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το θέμα της εργασίας εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της Διδακτικής της Χημείας.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ, ΜΟΝΤΕΛΑ & ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

1.1 Εισαγωγή

Το αντικείμενο της επιστήμης της χημείας είναι η μελέτη της δομής, της κίνησης και των αλληλεπιδράσεων των μικροσκοπικών σωματιδίων που αποτελούν τα δομικά στοιχεία της ύλης, δηλαδή όλων των άβιων αντικειμένων και των έμβιων οργανισμών. Οι χημικοί προσπαθούν να συνδέσουν τα παρατηρήσιμα φαινόμενα (μακρόκοσμος) με τα μη-παρατηρήσιμα (μικρόκοσμος) και αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας αυτής αποτελούν οι χημικοί συμβολισμοί. Οι χημικοί έχουν επινοήσει ειδικά συμβολικά συστήματα προκειμένου να αναπαριστάνουν και να συμβολίζουν το «μικρόκοσμο» που μελετούν (άτομα, μόρια, χημική αντίδραση, κτλ.) ώστε να διευκολύνεται η εργασία και η επικοινωνία τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι μοριακοί τύποι, οι χημικές εξισώσεις, τα μοριακά μοντέλα κ.α. Τα συμβολικά συστήματα βοηθούν τους χημικούς να οπτικοποιούν τη χημεία και να σχηματίζουν νοητικές εικόνες οι οποίες αποτελούν τη βάση για την επέκταση της επιστημονικής γνώσης.

Στη χημεία υπάρχει έντονα μία οπτική λογική, η οποία σκιαγραφείται χαρακτηριστικά στα πολλαπλά βήματα μιας οργανικής σύνθεσης. Αρχικά, οι χημικοί σχεδιάζουν τη δομή της ένωσης που επιδιώκουν να συνθέσουν και στη συνέχεια σχεδιάζουν μια σειρά χημικών αντιδράσεων στις οποίες αναδιοργανώνονται τα άτομα και οι χημικοί δεσμοί με σκοπό να σχηματιστεί η δομή της επιθυμητής ένωσης. Με την παραπάνω διαδικασία απεικονίζουν χωρικά τα σωματίδια και τα γεωμετρικά τους σχήματα σε δύο διαστάσεις, σχηματίζοντας μια «χωρική», τρισδιάστατη γλώσσα. Αναπαριστάνουν, δηλαδή, πληροφορίες οι οποίες δεν θα ήταν εύκολο να κατανοηθούν αλλιώς και έχουν τη δυνατότητα να σκέφτονται τις θέσεις των σωματιδίων στο χώρο και να μεταφέρουν πληροφορίες αποτελεσματικά μέσω μιας οπτικής εικόνας. Στη συνέχεια, εξετάζουν την καθαρότητα και τις ιδιότητες της ένωσης που συνέθεσαν με διάφορες τεχνικές, όπως για παράδειγμα με χρωματογραφία,

με NMR ή IR φάσματα κτλ., συγκρίνοντας κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αυτών των συμβολικών εκφράσεων (π.χ. τις κορυφές στα φάσματα) με κάποια χαρακτηριστικά στη μοριακή δομή της ένωσης (π.χ. είδος ατόμων ή δεσμών) και προβαίνουν σε συμπεράσματα. Δηλαδή, οι χημικοί είναι εξοικειωμένοι με τη μετατροπή μιας αναπαράστασης από τη μια μορφή (π.χ. φάσμα) στην άλλη (π.χ. μοριακή δομή).

Συνεπώς, 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 της.

1.2 Η φύση της οπτικοποίησης

Ποια είναι όμως η σημασία της έννοιας «οπτικοποίηση»; Την απάντηση στο παραπάνω ερώτημα διερεύνησε ο Gilbert[1]. Για την ερμηνεία του όρου «οπτικοποιώ» (visualize), το Concise Oxford Dictionary δίνει τα εξής αποτελέσματα[1]:

> «1. Σχηματίζω μια νοητική εικόνα, φαντάζομαι. 2. Κάνω ορατό στο μάτι»
>
> ('1. Form a mental image of; imagine. 2. Make visible to the eye.')

Η διαφορά ανάμεσα στους δύο αυτούς ορισμούς αποτελεί αντικείμενο εκτενών συζητήσεων σχετικά με τη φύση της οπτικοποίησης και το ρόλο της στην επίτευξη της κατανόησης. Ο Tufte χρησιμοποιεί τον όρο «οπτικοποίηση» για να εκφράσει την οπτική παρουσίαση πληροφοριών με τη μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και γραφημάτων. Άλλοι επιστήμονες ενδιαφέρονται για την υποδοχή και την επεξεργασία των πληροφοριών στο νου. Ο Reisberg διαχωρίζει την «οπτική αντίληψη» (visual perception), η οποία θεωρεί ότι είναι η εικόνα ενός αντικειμένου όπως προκύπτει από την απ' ευθείας όραση αυτού, τόσο από την «οπτική απεικόνιση» (visual imagery), η οποία θεωρεί ότι είναι ο νοητικός σχηματισμός της εικόνας ενός αντικειμένου εν τη απουσία

---

[1] Τα ελληνικά λεξικά δεν περιέχουν το λήμμα «οπτικοποιώ» γιατί πρόκειται για νεότερη λέξη. Ως σύνθετη λέξη με 2^{ο} συνθετικό το λήμμα «ποιώ» ερμηνεύεται ως εξής: «κάνω κάποιον ή κάτι να φαίνεται αυτό που δηλώνει το 1^{ο} συνθετικό».

αυτού, όσο και από την «χωρική απεικόνιση» (spatial imagery), η οποία θεωρεί ότι είναι ο σχηματισμός μιας νοητικής αναπαράστασης του αντικειμένου μέσω απτικών μέσων (της αφής). Συχνά, αντί για τον όρο «οπτική απεικόνιση» (visual imagery) χρησιμοποιούνται άλλοι όροι, όπως η «νοητική απεικόνιση» (mental imagery) ή η «οπτικοποίηση».

Η χρησιμοποίηση του όρου «οπτικοποίηση» ως ένα σύνολο πληροφοριών υποδηλώνει μία μάλλον απλοϊκή άποψη, καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι τα εξωτερικά ερεθίσματα έχουν την ίδια επίδραση στο μυαλό όλων των ανθρώπων. Ωστόσο, με βάση όσα είναι γνωστά μέχρι σήμερα, η κατασκευή της γνώσης από το άτομο επηρεάζεται από τον τρόπο που το μυαλό χειρίζεται τα οπτικά φαινόμενα.

Η στενή σχέση των όρων που σχετίζονται με τις δραστηριότητες του μυαλού είναι αναμενόμενη, καθώς υπάρχουν αποδείξεις ότι η οπτική αντίληψη (αυτό που βλέπουμε) και η οπτική απεικόνιση (αυτό που φανταζόμαστε στο μυαλό) εμπλέκουν παρόμοιες νοητικές διαδικασίες, οι οποίες αμοιβαία αλληλοϋποστηρίζονται. Συνεπώς, και οι δύο διαδικασίες διατηρούν τη χωρική διάταξη ενός αντικειμένου ή μιας εικόνας. Αυτό συμβαίνει διότι οι ταχύτητες με τις οποίες ένα άτομο είναι σε θέση να διερευνήσει ένα αντικείμενο ή μία εικόνα (να αλλάξει την εστίαση της προσοχής του πάνω σε αυτό), να μεγεθύνει σε σχέση με αυτό (να βλέπει κοντύτερα σε αυτό ή μακρύτερα από αυτό) και να το περιστρέφει είναι συνεχείς και πανομοιότυπες τόσο κατά την οπτική αντίληψη όσο και κατά την οπτική απεικόνιση. Επιπλέον, και οι δύο διαδικασίες παρέχουν μεγαλύτερη διάκριση λεπτομερειών, δηλαδή παρουσιάζουν μεγαλύτερη «οπτική οξύτητα» (visual acuity) στο κέντρο του αντικειμένου ή της εικόνας, παρά σε κάποιο άλλο σημείο. Ωστόσο, η ομοιότητα αυτών των διεργασιών σταματά σε κάποιο σημείο, γεγονός που φαίνεται από τη σημαντική διαφορά που μπορεί να έχουν τα προϊόντα της οπτικής αντίληψης (οπτικές αντιλήψεις) από τα προϊόντα της οπτικής απεικόνισης (οπτικές εικόνες). Για παράδειγμα, οι οπτικές εικόνες έχουν μερικές εικονογραφικές (pictorial) ιδιότητες, αλλά είναι περιορισμένης ικανότητας και συντίθενται ενεργά. Αυτό μπορεί να οφείλεται εν μέρει στο ότι η οπτική αντίληψη φαίνεται να είναι εκλεκτική διαδικασία. Επιπροσθέτως, μπορεί να οφείλεται στους

διαφορετικούς σκοπούς για τους οποίους σχηματίζονται και στα διαφορετικά πλαίσια μέσα στα οποία σχηματίζονται οι οπτικές αντιλήψεις και οι οπτικές εικόνες, με αποτέλεσμα επακόλουθες ενεργές δημιουργίες που είναι μερικές και επιλεκτικές σε σχέση με τις προηγούμενες.

Η διάκριση ανάμεσα στην οπτική αντίληψη και στην οπτική απεικόνιση μπορεί να είναι ιδιαίτερης σημασίας για τους ψυχολόγους, όμως είναι μικρότερης σημασίας για τους ενεργούς επιστήμονες των φυσικών επιστημών και για τους καθηγητές των φυσικών επιστημών. Στην παρούσα εργασία ο όρος «οπτικοποίηση» θα χρησιμοποιείται για να καλύψει και τις δύο περιπτώσεις, δηλαδή τόσο τη χρησιμοποίηση οπτικών ή οπτικοακουστικών μέσων για την παρουσίαση με πιο κατανοητό τρόπο ενός θέματος (αυτό που βλέπουμε), όσο και το σχηματισμό εικόνων στο νου (αυτό που φανταζόμαστε). Να σημειώσουμε ότι, συχνά, για τις δύο αυτές περιπτώσεις οπτικοποίησης χρησιμοποιούνται οι όροι «εξωτερικές» και «εσωτερικές» αναπαραστάσεις.

1.3 Η οπτικοποίηση & τα μοντέλα στην επιστήμη

Οι επιστήμονες προκειμένου να εξηγήσουν τα φαινόμενα που παρατηρούνται στη φύση και να περιγράψουν τις αιτίες που οδηγούν σε αυτά, στην αρχή των ερευνών τους μελετούν εξιδανικευμένες περιπτώσεις, τις οποίες ονομάζουν «υποδειγματικά φαινόμενα». Για παράδειγμα, οι πρώτοι χημικοί δούλευαν με διαλύματα καθαρών ουσιών, παρά με μίγματα που συναντώνται στη φύση, οι πρώτοι φυσικοί μελετούσαν την κίνηση σωμάτων με πολύ μικρές τριβές, κοκ. Αυτά τα υποδειγματικά παραδείγματα αποτελούν απλοποιήσεις των φυσικών φαινομένων και επιλέγονται γιατί καθιστούν την οπτικοποίηση (οπτική αντίληψη) των φυσικών φαινομένων πιο εύκολη. Τέτοιες περιγραφές ή/και απλοποιήσεις των πολύπλοκων φυσικών φαινομένων ονομάζονται «μοντέλα» και η εργασία των επιστημόνων συνίσταται στην παραγωγή και στον έλεγχο τέτοιων μοντέλων. Καθώς η επιστημονική έρευνα προχωρά, η πολυπλοκότητα των μοντέλων για τα υποδειγματικά φαινόμενα σταδιακά αυξάνεται.

Ο ρόλος των μοντέλων είναι ιδιαίτερα σημαντικός στις περιπτώσεις που γίνεται οπτικοποίηση (οπτική απεικόνιση) των οντοτήτων, των σχέσεων, των αιτιών και των επιπτώσεων των φαινομένων. Τα μοντέλα και οι απεικονίσεις τους συνεισφέρουν στην παραγωγή, στη διάδοση και στην αποδοχή της γνώσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παραγωγής γνώσης είναι το όνειρο του Kekule, ο οποίος φαντάστηκε τη δομή του μορίου του βενζολίου σαν ένα φίδι που δαγκώνει την ουρά του[2], ενώ ένα παράδειγμα διάδοσης και αποδοχής γνώσης είναι το μοντέλο για τη διπλή έλικα του DNA. Επιπλέον, τα μοντέλα λειτουργούν σαν γέφυρα ανάμεσα στην επιστημονική θεωρία και στον κόσμο όπως αυτός γίνεται αντιληπτός μέσω των αισθήσεων.

1.3.1 Το περιεχόμενο των μοντέλων

Τα μοντέλα μπορούν να απεικονίσουν αντικείμενα τα οποία έχουν είτε αυτόνομη υπόσταση (π.χ. ένα άτομο, ένα δοχείο αντίδρασης) είτε αποτελούν μέρος ενός συστήματος (π.χ. ένα άτομο σε ένα μόριο, ένα δοχείο αντίδρασης σε μία εργαστηριακή διάταξη). Επίσης, τα μοντέλα μπορούν να είναι μικρότερα ή μεγαλύτερα από τα αντικείμενα που απεικονίζουν (π.χ. το μοντέλο μιας φάλαινας ή ενός ιού). Ακόμη, τα μοντέλα μπορεί να απεικονίζουν οντότητες, οι οποίες είναι προϊόν αφαίρεσης και κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται σαν αντικείμενα (π.χ. τα διαγράμματα ενέργειας που απεικονίζονται ως γραμμές, οι δυνάμεις που απεικονίζονται ως διανύσματα κ.α.). Συνεπώς, τα μοντέλα είναι δυνατόν να αποτελούνται από συνδυασμό αναπαραστάσεων οντοτήτων που έχουν προκύψει από αφαίρεση και αναπαραστάσεων υλικών αντικειμένων (π.χ. οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα).

Τέλος, ένα μοντέλο μπορεί να αποτελεί ένα σύστημα, δηλαδή ένα σύνολο από οντότητες σε συγκεκριμένη διευθέτηση μεταξύ τους (π.χ. τα άτομα του άνθρακα σε έναν κρύσταλλο διαμαντιού), ένα γεγονός (π.χ. η μεταφορά ενός ιόντος μέσω ημιπερατής μεμβράνης) ή μια διαδικασία όπου ένα ή περισσότερα στοιχεία έχουν αλλάξει μόνιμα (π.χ. ένας καταλυτικός μετατροπέας υδρογονανθράκων σε λειτουργία).

1.3.2 Επιστημολογία και μοντέλα

Από επιστημολογική άποψη τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες, τις οποίες ο Gilbert[1] περιγράφει ως εξής: Ένα νοητικό μοντέλο (mental model) είναι μία προσωπική αναπαράσταση του ατόμου την οποία σχηματίζει είτε από μόνο του είτε σε μία ομάδα. Για παράδειγμα, όλοι οι μαθητές σχηματίζουν ένα νοητικό μοντέλο για το άτομο στη χημεία, για τη δύναμη στη φυσική, για το γονίδιο στη βιολογία, για τις τεκτονικές πλάκες στη γεωλογία κοκ. Από τη φύση τους τα νοητικά μοντέλα δεν είναι προσβάσιμα στους άλλους, αλλά είναι απολύτως προσωπικά. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία, κάποια εκδοχή ενός νοητικού μοντέλου εκφράζεται δημόσια, η οποία ονομάζεται εκφρασμένο μοντέλο (expressed model). Μία κοινωνική ομάδα, όπως για παράδειγμα μία σχολική τάξη, μπορεί να συμφωνήσει σε ένα κοινό εκφρασμένο μοντέλο, το οποίο στο εξής ονομάζεται συναινετικό μοντέλο (consensus model). Όταν αυτή η κοινωνική ομάδα είναι επιστήμονες οι οποίοι εργάζονται σ' έναν συγκεκριμένο τομέα και το συναινετικό μοντέλο που χρησιμοποιούν είναι στην αιχμή της επιστήμης, τότε ονομάζεται επιστημονικό μοντέλο (scientific model). Παραδείγματα επιστημονικών μοντέλων είναι αυτό του Schrödinger για το άτομο, αυτό των Watson-Crick για το DNA κ.α. Ένα επιστημονικό μοντέλο το οποίο έχει αντικατασταθεί από ένα άλλο ονομάζεται ιστορικό μοντέλο (historical model), όπως για παράδειγμα το μοντέλο του Bohr για το άτομο. Τα ιστορικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου μπορούν να δώσουν επαρκείς εξηγήσεις και συναντώνται συχνά στα αναλυτικά σχολικά προγράμματα.

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών είναι ο σχηματισμός νοητικών μοντέλων και κατόπιν η παραγωγή εκφρασμένων μοντέλων από τους μαθητές, τα οποία να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα αντίστοιχα επιστημονικά ή ιστορικά μοντέλα. Για το σκοπό αυτό δημιουργούνται απλοποιημένες εκδοχές των επιστημονικών ή των ιστορικών μοντέλων, τα οποία ονομάζονται σχολικά μοντέλα (curricular models) και διδάσκονται στους μαθητές (π.χ. το μοντέλο dot-and-cross των Lewis-Kossel). Επίσης, αναπτύσσονται ειδικά διδακτικά μοντέλα (teaching models) προκειμένου να υποστηρίξουν τη μάθηση συγκεκριμένων σχολικών μοντέλων

(π.χ. η αναλογία του ατόμου με το ηλιακό πλανητικό σύστημα). Τέλος, μερικοί καθηγητές χρησιμοποιούν υβριδικά μοντέλα (hybrid models) στα οποία συνδυάζουν χαρακτηριστικά από διάφορα ιστορικά μοντέλα (π.χ. στη χημική κινητική). Για παράδειγμα, για το άτομο στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση χρησιμοποιείται και διδάσκεται το μοντέλο του Bohr (ιστορικό μοντέλο), ενώ στην τριτοβάθμια το μοντέλο του Schrödinger (επιστημονικό μοντέλο).

1.3.3 Οντολογία και μοντέλα

Από οντολογική άποψη, όπως αναφέρει ο Gilbert[3], σύμφωνα με τον Hesse όλα τα μοντέλα παράγονται με τη χρήση της αναλογίας: ο στόχος, δηλαδή το θέμα του μοντέλου, απεικονίζεται με μερική σύγκριση με την πηγή. Αντίστοιχα, ο Harré θεωρεί ότι η ταξινόμηση των μοντέλων είναι δυαδική: ο στόχος και η πηγή είτε είναι το ίδιο πράγμα (ομόμορφα, homomorphs), είτε δεν είναι (παράμορφα, paramorphs). Τα ομόμορφα μπορούν να είναι μικρόμορφα (micro-morphs) αν το μέγεθος της πηγής είναι μικρότερο από το στόχο (π.χ. ιός) ή μακρόμορφα (macro-morphs) αν το μέγεθος της πηγής είναι μεγαλύτερο από το στόχο (π.χ. αεροπλάνο). Επίσης, τα ομόμορφα μπορούν να είναι τελειόμορφα (teleiomorphs), αν πρόκειται για εξιδανικεύσεις του στόχου, όπου ενώ είναι παρόντα όλα τα χαρακτηριστικά, κάποια από αυτά τονίζονται ιδιαίτερα, ή αν πρόκειται για αφαιρέσεις που βασίζονται στο στόχο, όπου απεικονίζονται μόνο μερικά χαρακτηριστικά (π.χ. η χρησιμοποίηση χρωματιστού καλωδίου για να απεικονιστεί το σύστημα αγγείων των ζώων). Τα μετρόμορφα (metromorphs) βασίζονται σ' ένα στόχο που είναι μία κατηγορία φαινομένων, παρά ένα μεμονωμένο παράδειγμα ενός φαινομένου με απεικονισμένες τις μέσες ιδιότητες (π.χ. μια τυπική οικογένεια). Ο σκοπός της χρησιμοποίησης ενός ομόμορφου είναι να δοθεί έμφαση σε κάποιες από τις πλευρές του στόχου, ενώ τα παράμορφα χρησιμοποιούνται για διαδικασίες μοντέλων παρά για αντικείμενα. Οι διαδικασίες θεωρείται ότι είναι ίδιες στην πηγή και στο στόχο ή ανάλογες. Η παραπάνω ανάλυση για τα μοντέλα[3] δίνει τη δυνατότητα να συσχετιστούν οι πηγές των μοντέλων ή οι τρόποι απεικόνισης με τους επιδιωκόμενους στόχους που υπάρχουν σε κάθε περίπτωση, όμως κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτής της εργασίας.

1.3.4 Τρόποι έκφρασης των μοντέλων

Ο Gilbert[1] περιέγραψε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να εκφραστεί ένα μοντέλο για κάποιο φαινόμενο, ανεξάρτητα αν αυτό είναι εκφρασμένο, επιστημονικό, ιστορικό, σχολικό ή υβριδικό. Αυτοί οι τρόποι έκφρασης είναι πέντε και περιγράφονται παρακάτω:

- Ο συμπαγής ή υλικός τρόπος, κατά τον οποίο το μοντέλο είναι τρισδιάστατο και κατασκευασμένο από ανθεκτικά υλικά, όπως είναι το πλαστικό μοντέλο σφαίρας-ράβδου για έναν ιοντικό κρύσταλλο ή μία γύψινη αναπαράσταση για τα γεωλογικά στρώματα μίας περιοχής.

- Ο λεκτικός τρόπος (γραπτά ή προφορικά), κατά τον οποίο το μοντέλο εκφράζεται με μία περιγραφή των στοιχείων και των σχέσεών τους στην αναπαράσταση. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περιγραφή της φύσης των σφαιρών και των ράβδων σε μία αναπαράσταση σφαίρας-ράβδου. Επίσης, μπορεί να εκφράζεται με μία διερεύνηση των μεταφορών και των αναλογιών στις οποίες βασίζεται το μοντέλο. Για παράδειγμα, το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων στον ομοιοπολικό δεσμό απεικονίζεται διαφορετικά σε μία αναπαράσταση σφαίρας-ράβδου (με μία ράβδο) και σε μία χωροπληρωτική αναπαράσταση.

- Ο συμβολικός τρόπος, κατά τον οποίο το μοντέλο αποτελείται από χημικά σύμβολα, μοριακούς τύπους, χημικές εξισώσεις και μαθηματικές εκφράσεις (π.χ. ο νόμος των ιδανικών αερίων, οι νόμοι της ταχύτητας αντίδρασης κ.α.).

- Ο οπτικός τρόπος, κατά τον οποίο χρησιμοποιούνται γραφήματα, διαγράμματα και κινούμενα σχέδια (animation). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις των χημικών δομών και οι ψευδο-τρισδιάστατες αναπαραστάσεις που κατασκευάζονται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίες θα μπορούσαν να ονομαστούν «ψηφιακά μοντέλα».

- Ο χειρονομιακός (gestural) τρόπος, ο οποίος εκμεταλλεύεται την κίνηση του σώματος ή μελών του σώματος, όπως για παράδειγμα η απεικόνιση των ιόντων, σε ένα μάθημα ηλεκτρόλυσης, με την κίνηση των μαθητών σε αντι-ροές.

Συχνά, οι παραπάνω τρόποι συνδυάζονται, όπως για παράδειγμα σε μία λεκτική παρουσίαση της οπτικής αναπαράστασης του κύκλου του Krebs.

Στην περίπτωση της χημείας επικρατούν οι συμπαγείς, οπτικές και συμβολικές μορφές αναπαράστασης, ενώ ο κάθε τρόπος έκφρασης περιλαμβάνει πολλές υποκατηγορίες. Όλοι οι παραπάνω τρόποι έκφρασης και οι υποκατηγορίες τους αποτελούν τη «χωρική γλώσσα» (spatial language)[4] και καλύπτουν την περιοχή ανάμεσα στην αυθαίρετη σχέση που υπάρχει μεταξύ λέξεων και ιδεών και στη σχέση που υπάρχει μεταξύ των εικόνων και των αναφορικών τους[5].

Επίσης, όλοι οι παραπάνω τρόποι αναπαράστασης έχουν έναν «κώδικα ερμηνείας», ο οποίος είναι μία σειρά συμβάσεων με βάση τις οποίες απεικονίζονται οι οντότητες και οι σχέσεις τους στο μοντέλο. Βεβαίως, τα πράγματα περιπλέκονται ακόμη περισσότερο διότι οι τρόποι απεικόνισης (υποκατηγορίες) είναι πάρα πολλοί. Για παράδειγμα, οι χημικές εξισώσεις μπορούν να απεικονιστούν με πάρα πολλούς τρόπους, όπως:

«ψευδάργυρος + υδροχλωρικό οξύ» ή

«$Zn + HC\ell_{(aq)}$» ή

«$Zn_{(s)} + H^{+}_{(aq)} + C\ell^{-}_{(aq)}$»

Η μάθηση αυτών των «κωδικών» της αναπαράστασης είναι ένα πολύ σημαντικό έργο για τους μαθητές, διότι η μεταφορά μεταξύ αυτών των τρόπων αναπαράστασης διανοητικά είναι ιδιαίτερα απαιτητική και γίνεται ακόμη πιο δύσκολη όταν τα είδη των αναπαραστάσεων ανακατεύονται[1].

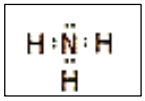
1.4 Οι χημικές αναπαραστάσεις

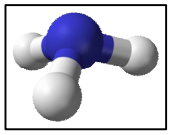
Στην παρούσα εργασία οι οπτικοποιήσεις της χημείας, δηλαδή οι απεικονίσεις των μοντέλων, θα ονομάζονται χημικές αναπαραστάσεις. Οι χημικές αναπαραστάσεις παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, διότι τα συμβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται έχουν διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά και έτσι, αναπαριστάνουν τις πληροφορίες και τα φαινόμενα με διαφορετικούς τρόπους. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται τέσσερις

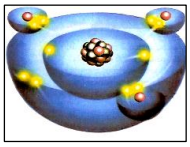
διαφορετικές χημικές αναπαραστάσεις για το μόριο της αμμωνίας μέσω τεσσάρων συμβολικών συστημάτων.

Μόριο Αμμωνίας

NH_3







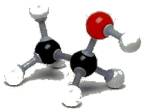
1ο Συμβολικό Σύστημα *2ο Συμβολικό Σύστημα* *3ο Συμβολικό Σύστημα* *4ο Συμβολικό Σύστημα*

Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση του μορίου της αμμωνίας με τέσσερα διαφορετικά συμβολικά συστήματα.

Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά ενός συμβολικού συστήματος μπορούν να αναπαριστάνουν καλύτερα ορισμένα χαρακτηριστικά μιας πληροφορίας, συγκριτικά με ένα άλλο συμβολικό σύστημα, το οποίο μπορεί να αναπαριστάνει καλύτερα κάποια άλλα χαρακτηριστικά της πληροφορίας[6]. Για παράδειγμα, οι μοριακοί τύποι απεικονίζουν καθαρά το είδος και την αναλογία των ατόμων σε μια χημική ένωση, τα μοντέλα σφαίρας-ράβδου απεικονίζουν καθαρά τους χημικούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων, ενώ τα χωροπληρωτικά μοντέλα αποδίδουν καλύτερα τον όγκο των ατόμων και του συνολικού μορίου, όμως δεν απεικονίζουν καθαρά τις θέσεις των ατόμων στο χώρο και τους μεταξύ τους δεσμούς (σχήμα 1.2).

Μόριο Αιθανόλης

C_2H_6O



Μοριακός τύπος *Μοντέλο σφαίρας-ράβδου* *Χωροπληρωτικό μοντέλο*

Σχήμα 1.2: Χημικές αναπαραστάσεις του μορίου της αιθανόλης.

Αρκετές από τις χημικές αναπαραστάσεις, όπως είναι για παράδειγμα οι μοριακές δομές, τα μοριακά μοντέλα κ.α., αποτελούν μερικώς σχηματοποιημένα και μερικώς εικονικά γραφήματα, τα οποία αναπαριστάνουν αφηρημένες έννοιες και εφαρμόζουν συμβάσεις για να εικονογραφήσουν τόσο τα συστατικά, όσο και την οργάνωσή τους[7]. Η σχέση ανάμεσα στις οπτικές

χημικές αναπαραστάσεις και στις αντίστοιχες χημικές έννοιες είναι είτε αυθαίρετη, όπως είναι η σχέση μεταξύ των λέξεων και των εννοιών, είτε ακριβής απεικόνιση, όπως είναι η σχέση μεταξύ των εικόνων και αυτών στα οποία αναφέρονται οι εικόνες[5]. Εάν τοποθετήσουμε σε μια αλληλουχία τις διαφορετικές μορφές των γραπτών πληροφοριών, οι χημικές αναπαραστάσεις, τυπικά, είναι πιο αφηρημένες από τις εικόνες, όμως αναπαριστούν πληροφορίες σε ένα αναλογικό και μη αυθαίρετο φάσμα[8]. Γενικά, οι χημικές αναπαραστάσεις έχουν διττή φύση: είναι ταυτόχρονα οπτικές και εννοιολογικές κατασκευές[8].

Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.3 απεικονίζεται μία αναπαράσταση δύο μορίων διχλωροαιθανίου, στην οποία τα ξεχωριστά άτομα και οι χημικοί δεσμοί είναι σχηματισμένα να δείχνουν ως μπάλες και ράβδοι. Ταυτόχρονα, οι έννοιες κλειδιά αναπαριστάνονται με το είδος των ατόμων, με τον αριθμό των δεσμών που έχουν τα άτομα και με το γεωμετρικό σχήμα που έχει ένα μόριο διχλωροαιθανίου. Η χρησιμοποίηση αυτών των αναπαραστάσεων στην εκτέλεση εργασιών απαιτεί μια σειρά γνωστικών λειτουργιών στο χωρικό (spatial) τομέα, όπως είναι η αναγνώριση των γραφικών συμβάσεων, ο χειρισμός χωρικών πληροφοριών που προέρχονται από τις μοριακές δομές και η νοητική ιχνηλασία των περιορισμών που βασίζονται στις έννοιες.

Σχήμα 1.3: Χημική αναπαράσταση δύο μορίων διχλωροαιθανίου.

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.

1.4.1 Οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις

Οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις απεικονίζουν τα φαινόμενα σύμφωνα με την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, δηλαδή έτσι όπως γίνονται αντιληπτά με το ανθρώπινο μάτι. Πρόκειται: α) για άμεσες εμπειρίες από εργαστηριακά πειράματα ή από την καθημερινή ζωή[9,10], 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. Για παράδειγμα, μακροσκοπικές αναπαραστάσεις αποτελούν τόσο η παρατήρηση ότι σχηματίζεται ένα κίτρινο στερεό όταν αναμιγνύονται υδατικά διαλύματα ιωδιούχου καλίου και νιτρικού μολύβδου, η οποία προέρχεται από εμπειρία σε εργαστηριακό πείραμα, όσο και η προβολή του παραπάνω πειράματος σε βίντεο ή μια φωτογραφία του παραπάνω πειράματος (σχήμα 1.4). Αντίστοιχα, η παρατήρηση ότι σχηματίζονται φυσαλίδες κατά το βρασμό του νερού είναι μια μακροσκοπική αναπαράσταση που προέρχεται από εμπειρία της καθημερινής ζωής.

Σχήμα 1.4: Μακροσκοπική αναπαράσταση της χημικής αντίδρασης του ιωδιούχου καλίου με το νιτρικό μόλυβδο, μέσω φωτογραφίας από εργαστηριακό πείραμα.

Οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις σχετίζονται άμεσα με τη γνωστική ανάπτυξη των μαθητών. Η γνώση των μαθητών θεωρείται ότι αποτελείται από πολλές, μικρές γνωστικές δομές, οι οποίες βασίζονται στις ερμηνείες που δίνουν οι μαθητές στις εμπειρίες της καθημερινής ζωής[11]. Αυτές οι γνωστικές δομές, ενώ είναι τυπικά ασύνδετες και μη συστηματοποιημένες στο μυαλό των μαθητών, παρέχουν τη γνωστική βάση πάνω στην οποία δομούνται οι τυπικές έννοιες και αρχές. Δηλαδή, η μάθηση των φυσικών επιστημών είναι μία σταδιακή διαδικασία κατά την οποία οι αρχικές γνωστικές δομές συνεχώς

εμπλουτίζονται και αναδομούνται[11]. Οι μαθητές παράγουν νοητικά μοντέλα που βασίζονται στις γνώσεις που διαθέτουν, ώστε να μπορέσουν να αφομοιώσουν ή να συμβιβάσουν τις νέες πληροφορίες. Αυτά τα νοητικά μοντέλα που παράγονται, εφαρμόζονται και δοκιμάζονται σε νέες καταστάσεις[12]. Συνεπώς, η κατανόηση της χημείας δομείται πάνω στις αισθητηριακές εμπειρίες των μαθητών, δηλαδή πάνω στις μακροσκοπικές αναπαραστάσεις[9].

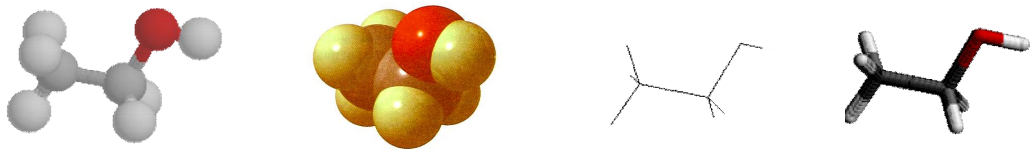
Επιπροσθέτως, οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις είναι ο κρίκος που συνδέει την επιστημονική γνώση με την καθημερινή ζωή, με όλες τις ευεργετικές συνέπειες που επιφέρει αυτό στη μαθησιακή διαδικασία.

1.4.2 Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις

Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις της χημείας απεικονίζουν τη δομή και την κίνηση[8] των υπαρκτών, αλλά μικροσκοπικών για να παρατηρηθούν, σωματιδίων της ύλης (άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια κ.α.). Πρόκειται για εικόνες, για κινούμενα σχέδια στον υπολογιστή (animation) και για χειροπιαστά μοριακά μοντέλα. Οι εικόνες μπορούν να περιέχονται στα σχολικά εγχειρίδια, να παρουσιάζονται σε διαφάνειες είτε μέσω διαφανοσκοπείου, είτε μέσω προβολέα ή να σχεδιάζονται από τον καθηγητή στον πίνακα. Τα κινούμενα σχέδια προβάλλονται στον υπολογιστή και προσομοιώνουν, εκτός από τη δομή, την κίνηση και την αλληλεπίδραση των σωματιδίων.

Τα συμβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις είναι τα μοριακά μοντέλα. Η πιο διαδεδομένη μορφή μοριακών μοντέλων είναι το μοντέλο σφαίρας-ράβδου, στο οποίο τα άτομα αναπαριστάνονται ως σφαίρες και οι δεσμοί ως ράβδοι. Τα άτομα διακρίνονται μεταξύ τους από τα σχετικά μεγέθη και το χρώμα τους (δομή 1 - σχήμα 1.5). Τα μοντέλα σφαίρας-ράβδου απαντώνται σε συμπαγή τρισδιάστατη μορφή, σε δισδιάστατη μορφή εικόνας και σε τρισδιάστατη ψηφιακή μορφή. Αρκετά διαδεδομένη, επίσης, μορφή μοριακών μοντέλων είναι το χωροπληρωτικό μοντέλο, στο οποίο οι ακτίνες των ατόμων

αντιστοιχούν στις ακτίνες van der Waals. Το μοντέλο αυτό αποδίδει καλύτερα τον όγκο των ατόμων και του συνολικού μορίου, όμως δεν φαίνονται καθαρά οι θέσεις των ατόμων στο χώρο και οι μεταξύ τους δεσμοί (δομή 2 - σχήμα 1.5). Κάποιες άλλες μορφές μοριακών μοντέλων είναι το μοντέλο ράβδων, στο οποίο οι δεσμοί απεικονίζονται ως ράβδοι και τα άτομα υπονοούνται από το χρωματισμό των δεσμών (δομή 3 - σχήμα 1.5) και το μοντέλο σωλήνων, το οποίο μοιάζει με το μοντέλο δεσμών, όμως οι δεσμοί απεικονίζονται με σωλήνες οι οποίοι έχουν πιο μεγάλο πάχος (δομή 4 - σχήμα 1.5). Τα χωροπληρωτικά μοντέλα, τα μοντέλα ράβδων και τα μοντέλα σωλήνων απαντώνται και σε τρισδιάστατη ψηφιακή μορφή.



Μοντέλο σφαίρας-ράβδου	*Χωροπληρωτικό μοντέλο*	*Μοντέλο ράβδων*	*Μοντέλο σωλήνων*
(Δομή 1)	*(Δομή 2)*	*(Δομή 3)*	*(Δομή 4)*

Σχήμα 1.5: Μικροσκοπικές αναπαραστάσεις του μορίου της αιθανόλης.

Λόγω των δυνατοτήτων των νέων τεχνολογιών, όλα τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα χρησιμοποιούν σήματα τρισδιάστατης απεικόνισης, όπως είναι η σκίαση, ο φωτισμός και η υφή, με αποτέλεσμα οι αναπαραστάσεις που δημιουργούνται να περιγράφουν με μεγάλη ακρίβεια την τρισδιάστατη δομή των μορίων[13]. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί λογισμικά μοριακής μοντελοποίησης, που επιτρέπουν την κατασκευή μοριακών μοντέλων και το χειρισμό τους στον τρισδιάστατο χώρο.

Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις βασίζονται στη σωματιδιακή θεωρία της ύλης[9] και έχουν μεγάλη αξία διότι είναι το μόνο είδος αναπαράστασης που δίνει τη δυνατότητα στους χημικούς να οπτικοποιούν τα χημικά φαινόμενα σε σωματιδιακό επίπεδο, δηλαδή να σκέφτονται και να φαντάζονται πως κινούνται και πως αλληλεπιδρούν τα σωματίδια κατά τη διάρκεια των χημικών φαινομένων. Έτσι, με βάση τη δομή της ύλης, την κίνηση των σωματιδίων και τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων, οι χημικοί επεξηγούν τα αντίστοιχα μακροσκοπικά (παρατηρήσιμα) φαινόμενα. Το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης

παίζει κεντρικό ρόλο στη μελέτη και στην κατανόηση της χημείας, διότι έχουν αναγνωριστεί πολλές παρανοήσεις σχετικές με αυτό, οι οποίες είναι πιθανό να εμποδίσουν την κατανόηση και εννοιολογική μάθηση της χημείας[14-20]. Ο ρόλος των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων έγκειται στο ότι βοηθούν τους μαθητές να οπτικοποιήσουν και στη συνέχεια, να κατανοήσουν τη σωματιδιακή φύση της ύλης και έτσι, να αποφύγουν τις αντίστοιχες παρανοήσεις.

1.4.3 Οι συμβολικές αναπαραστάσεις

Οι συμβολικές αναπαραστάσεις της χημείας περιλαμβάνουν τα σύμβολα, τα γράμματα, τους αριθμούς και τα σήματα που χρησιμοποιούνται για να αναπαρασταθούν τα άτομα, τα μόρια, τα ιόντα, οι ουσίες και οι χημικές διαδικασίες[8]. 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.

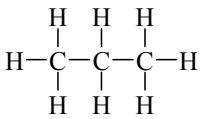
Οι πιο διαδεδομένες συμβολικές αναπαραστάσεις των μορίων είναι οι χημικοί τύποι, οι οποίοι είναι δισδιάστατες αναπαραστάσεις. Λόγω του ότι μπορούν να σχεδιαστούν πολύ εύκολα απαντώνται συχνά στα σχολικά βιβλία και σχεδιάζονται στους πίνακες των σχολικών τάξεων. Οι πιο συνηθισμένοι χημικοί τύποι είναι οι εξής:

i. Οι μοριακοί τύποι. Δίνουν πληροφορίες μόνο για τη σύσταση ενός μορίου, δηλαδή, για το είδος και την αναλογία των ατόμων που σχηματίζουν ένα μόριο (δομή 1 - σχήμα 1.6).

ii. Οι συντακτικοί τύποι. Παρέχουν πληροφορίες, όχι μόνο για τη σύσταση των μορίων, αλλά και για τη συνδετικότητα των ατόμων στο μόριο. Δηλαδή, φαίνονται καθαρά οι χημικοί δεσμοί που υπάρχουν στο μόριο και οι οποίοι συμβολίζονται με μια γραμμή μεταξύ των αντίστοιχων ατόμων. Ωστόσο, δεν δίνουν πληροφορίες για τη διευθέτηση των ατόμων στο χώρο (δομή 2 - σχήμα 1.6).

iii. Οι συνεπτυγμένοι συντακτικοί τύποι. Παρέχουν πληροφορίες για τη σύσταση του μορίου και για τους χημικούς δεσμούς που υπάρχουν στο μόριο, όμως δεν σχεδιάζονται αναλυτικά, με μια γραμμή, όλοι οι δεσμοί. Σχεδιάζονται μόνο όσοι είναι απαραίτητοι για να δηλώσουν τη δομή του μορίου και οι υπόλοιποι υπονοούνται. (δομή 3 - σχήμα 1.6).

Μόριο προπανίου

C_3H_8		$CH_3—CH_2—CH_3$
Μοριακός τύπος	*Συντακτικός τύπος*	*Συνεπτυγμένος συντακτικός τύπος*
(Δομή 1)	*(Δομή 2)*	*(Δομή 3)*

Σχήμα 1.6: Συμβολικές αναπαραστάσεις με χημικούς τύπους του μορίου του προπανίου.

Οι παραπάνω χημικοί τύποι (μοριακοί, συντακτικοί και συνεπτυγμένοι συντακτικοί) αναπαριστάνουν με δισδιάστατο τρόπο τρισδιάστατα μόρια. Προκειμένου να απεικονιστούν οι σχετικές θέσεις των ατόμων στον τρισδιάστατο χώρο, οι συντακτικοί τύποι έχουν εμπλουτιστεί με τα σήματα προοπτικής (depth cues) και χρησιμοποιούνται κανόνες οικονομίας της οπτικής επικοινωνίας. Τα σήματα προοπτικής που χρησιμοποιούνται στην οπτική επικοινωνία είναι[13]:

i. Η προοπτική απεικόνιση των γραμμών (μείωση του μήκους των γραμμών).

ii. Η προοπτική απεικόνιση των γωνιών.

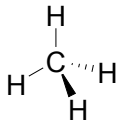
iii. Το σχετικό μέγεθος διαφόρων τμημάτων της δομής.

iv. Η επικάλυψη διαφόρων τμημάτων της δομής.

Προκειμένου να αποδοθεί η τρισδιάστατη δομή των μορίων, χρησιμοποιούνται οι στερεοχημικοί τύποι. Πρόκειται για συντακτικούς τύπους που έχουν εμπλουτιστεί με μαύρες και στικτές τριγωνικές γραμμές (γραμμές τρίτης διάστασης), οι οποίες συμβολίζουν την απόκλιση των δεσμών από το επίπεδο του χαρτιού (σχήμα 1.7). Η σφηνοειδής συνεχής γραμμή συμβολίζει

το δεσμό που βρίσκεται μπροστά από το επίπεδο του χαρτιού, ενώ η σφηνοειδής γραμμή με κουκίδες συμβολίζει το δεσμό που βρίσκεται πίσω από το επίπεδο του χαρτιού.

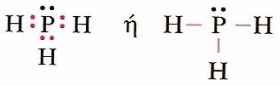
Μόριο Μεθανίου



Σχήμα 1.7: Στερεοχημικός τύπος του μορίου του μεθανίου.

Ένα άλλο είδος συμβολικής αναπαράστασης αποτελούν τα σύμβολα Lewis, που χρησιμοποιούνται για τα στοιχεία και οι ηλεκτρονιακοί τύποι Lewis, που χρησιμοποιούνται για τις ενώσεις. Τα σύμβολα Lewis απεικονίζουν με τελείες τα ηλεκτρόνια σθένους των στοιχείων (δομή 1 - σχήμα 1.8) και οι ηλεκτρονιακοί τύποι Lewis απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο διαμοιράζονται τα ηλεκτρόνια σθένους μεταξύ των συνδεόμενων ατόμων στις ενώσεις (δομή 2 - σχήμα 1.8).

Σύμβολο Lewis για το άτομο του φωσφόρου (Δομή 1)



Ηλεκτρονιακός τύπος Lewis για το μόριο της φωσφίνης (Δομή 2)

Σχήμα 1.8: Συμβολικές αναπαραστάσεις με σύμβολο Lewis και ηλεκτρονιακό τύπο Lewis.

Οι χημικοί τύποι θεωρούνται υβρίδια δύο ανταγωνιστικών οντοτήτων: είναι σύμβολα και μοντέλα ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα ως μοντέλα να πρέπει να είναι ακριβή και αξιόπιστα, ενώ ως σύμβολα να πρέπει να είναι ασαφή και γενικά, ώστε να μπορούν να εφαρμόζονται σε διαφορετικές περιπτώσεις[13,21]. Γενικά, οι συμβολικές αναπαραστάσεις στοιχειοθετούν τη γλώσσα των χημικών, όπου ένας χημικός τύπος είναι το ανάλογο μιας λέξης[13,21]. Οι χημικοί χρησιμοποιούν τις συμβολικές αναπαραστάσεις για να επικοινωνούν και να περιγράφουν τα μικροσκοπικά και μακροσκοπικά φαινόμενα[9].

1.5 Ιστορική εξέλιξη των χημικών αναπαραστάσεων & της χημείας

Ο ρόλος των αναπαραστάσεων και των τεχνολογιών οπτικοποίησης είναι κεντρικός στην κατανόηση της χημείας, όχι μόνο από τους μαθητές οι οποίοι αγωνίζονται να μάθουν για τις μη-αντιληπτικές χημικές οντότητες και διαδικασίες, αλλά και από τους χημικούς ώστε να αναπτυχθεί η επιστήμη. Πάντα υπήρχε μία στενή σχέση ανάμεσα στην κατανόηση των χημικών φαινομένων και στις εξωτερικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνταν για την απεικόνισή τους. Μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση δείχνει ότι κατά την ανάπτυξη του επιστημονικού κλάδου της χημείας, οι νέες αναπαραστάσεις και τα νέα εργαλεία αντιστοιχούσαν σε νέες προσεγγίσεις για τη μελέτη των χημικών ουσιών και σε νέους τρόπους σκέψης για τα μη-παρατηρήσιμα χημικά σωματίδια και διαδικασίες. Οι χημικοί χρησιμοποιούσαν νέες αναπαραστάσεις και νέα εργαλεία, τα οποία με τη σειρά τους διαμόρφωναν τον τρόπο με τον οποίο έβλεπαν και πραγματοποιούσαν τη εργασία τους.

Αυτό φαίνεται καθαρά στο τέλος του 18^{ου} αιώνα, όπου η χημεία γίνεται μια σύγχρονη επιστήμη. Το στοιχείο που διαφοροποιούσε την προγενέστερη από τη σύγχρονη χημεία ήταν η μετάβαση από τη διεξαγωγή ποιοτικών πειραμάτων (όπως η παρατήρηση ότι κατόπιν θέρμανσης ένα κόκκινο ορυκτό μετατρέπεται σε ασημί υγρό) σε ποσοτικά πειράματα (όπως η παρατήρηση ότι 100g κόκκινου στερεού παράγουν 86,2g ασημένιου υγρού). Αυτή η ποσοτική προσέγγιση συνέβαλε στην αλλαγή του τρόπου απεικόνισης της χημείας, δηλαδή στη γλώσσα της χημείας. Πριν από το 18^{ο} αιώνα, οι χημικές ουσίες ονομάζονταν με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες. Για παράδειγμα, το κόκκινο στερεό θειούχος υδράργυρος (II) ονομάζονταν vermilion (λαμπρό ερυθρό χρώμα) και το ασημί υγρό υδράργυρος ονομάζονταν quicksilver. Στο τέλος του 18^{ου} αιώνα ο Lavoisier και οι σύγχρονοί του άρχισαν να καθιερώνουν αναλυτικές τεχνικές για την ανακάλυψη της σύστασης των ουσιών, θέτοντας έτσι το αντικείμενο της χημείας. Την ίδια περίοδο ο Lavoisier, ο Guyton de Morreau και άλλοι ανέπτυξαν ένα σύστημα ονοματολογίας για τις ουσίες που βασίζονταν στη σύσταση των χημικών στοιχείων, παρά στις φυσικές τους ιδιότητες. Για τον Lavoisier η σύνδεση ανάμεσα στην ανάπτυξη της γλώσσας και στις νέες πρακτικές ήταν σαφής: η

ονομασία μιας ουσίας προϋπόθετε την πειραματική της αποσύνθεση ώστε να ταυτοποιηθούν τα συστατικά της στοιχεία. Η ανάπτυξη των χημικών τύπων επέτρεπε στους χημικούς να δείχνουν πώς τα μόρια αποσυντίθενται και συντίθενται και αυτές οι συμβολικές εκφράσεις αντιστοιχούσαν στις πειραματικές διαδικασίες που χρησιμοποιούσαν στα εργαστήρια για να αποσυνθέσουν και να συνθέσουν τις φυσικές ουσίες. Συνεπώς, η γλώσσα και το συμβολικό σύστημα κατασκευάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε ο χειρισμός των συμβόλων να είναι ανάλογος με το χειρισμό των ουσιών. Με την ενσωμάτωση της χημικής ονοματολογίας και των συμβολικών συστημάτων το ενδιαφέρον μετατοπίστηκε από τα φυσικά επιφανειακά χαρακτηριστικά στη μη-αντιληπτική σύσταση των χημικών στοιχείων. Ο Lavoisier εισήγαγε έναν νέο τρόπο σκέψης για τη χημεία, ένα καινούριο σύνολο πρακτικών και μία νέα χημική κοινότητα. Όπως αναφέρει ο Gilbert[1], ο ίδιος υποστήριξε ότι:

> «*Μία καλά διαμορφωμένη γλώσσα, μία γλώσσα στην οποία κάποιος θα κατακτά τη διαδοχική και φυσική τάξη των ιδεών, θα επιφέρει μία απαραίτητη, ακόμα και ταχεία, επανάσταση στον τρόπο διδασκαλίας. Δεν θα επιτρέψει όσους πρεσβεύουν ότι η χημεία αποκλίνει από την πορεία της φύσης. Αυτοί είτε θα απορρίψουν την ονοματολογία, ή αλλιώς θα ακολουθήσουν χωρίς αντίσταση τη διαδρομή που θα διαγράφεται.*»

Οι εξελίξεις στη χημεία συνέχισαν να διαμορφώνονται από τις εξελίξεις στους τρόπους απεικόνισης και οπτικοποίησης των χημικών φαινομένων. Στον 20^{ο} αιώνα η χημική σύνθεση (ο σχεδιασμός και η σύνθεση μορίων) αποτέλεσε το κύριο ενδιαφέρον του κλάδου. Παράλληλα με αυτή τη νέα δραστηριότητα έγινε η ανάπτυξη των συντακτικών τύπων, οι οποίοι έδειχναν τόσο τη σύνθεση όσο και τους δεσμούς των ατόμων στα μόρια. Αυτές οι οπτικοποιήσεις βοήθησαν στην ανάλυση των θέσεων μίας χημική ένωσης που θα αντιδράσουν για να σχηματιστούν νέα μόρια.

Ανάμεσα στη δεκαετία του 1930 και στα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι χημικοί ανέπτυξαν τα φυσικά τρισδιάστατα μοριακά μοντέλα σφαίρας-ράβδου[1], τα οποία έκαναν πιο σαφή τη διάταξη των ατόμων στο χώρο και επέτρεπαν την περιστροφή και την εξέταση του μοριακού μοντέλου. Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, με την έλευση των υπολογιστών και των λογισμικών μοριακής μοντελοποίησης, ήταν πολύ εύκολο πλέον να

κατασκευαστούν μοντέλα σφαίρας-ράβδου, χωροπληρωτικά μοντέλα και μοντέλα ηλεκτρονικής πυκνότητας ακόμα και για πολύ μεγάλα μόρια. Τέτοια διαδραστικά μοριακά γραφικά στοχεύουν στην αντικατάσταση των φυσικών μοντέλων. Το πλεονέκτημα των προγραμμάτων μοντελοποίησης στον υπολογιστή είναι ότι υποστηρίζουν επιπρόσθετες αναλύσεις, όπως είναι η μέτρηση του μήκους των δεσμών και οι γωνίες. Σε κάθε στάδιο ανάπτυξης των όλο και πιο βελτιωμένων μοντέλων, οι νέες αναπαραστάσεις παρείχαν νέες χημικές πρακτικές και νέους τρόπους σκέψης της χημείας, όπως είναι οι εκτιμήσεις χειρομορφίας, τα ηλεκτρονιόφιλα και τα πυρηνόφιλα είδη. Η δημιουργία νέων εργαλείων (χρωματογραφήματα, υπέρυθρα φάσματα, φάσματα NMR, φάσματα μάζας) παρείχαν επίσης οπτικές αναπαραστάσεις των φυσικών ιδιοτήτων των μη-αντιληπτικών μορίων οι οποίες στήριξαν τη σύνθεση νέων ουσιών.

1.6 Η πολυεπίπεδη σκέψη στη χημεία

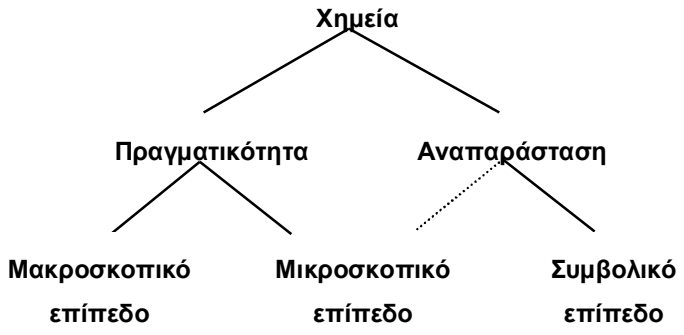
Η χημεία είναι μια επιστήμη που αναφέρεται σε τρία επίπεδα: το μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό[22]. Ο Johnstone[23,24] περιέγραψε αυτή την πολυεπίπεδη σκέψη στη χημεία και τις αντίστοιχες αναπαραστάσεις, με ένα ισόπλευρο τρίγωνο στο οποίο η κάθε κορυφή αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο (σχήμα 1.9). Οποιοδήποτε σημείο στο εσωτερικό του τριγώνου αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό μακροσκοπικού, μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου που χρησιμοποιείται για κάποιο σκοπό, όπως για παράδειγμα για τη διδασκαλία της χημείας, για την επεξήγηση ενός φαινομένου κτλ. Για παράδειγμα, η εννοιολογική κατανόηση των χημικών φαινομένων από τους χημικούς βρίσκεται στο κέντρο του τριγώνου.

Κατά τη διδασκαλία και τη μάθηση της χημείας, ζητείται από τους μαθητές να σκεφτούν σε μικροσκοπικό επίπεδο, ώστε με βάση τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων να εξηγήσουν αλλαγές οι οποίες παρατηρούνται σε μακροσκοπικό επίπεδο και να χρησιμοποιήσουν σύμβολα για να τις περιγράψουν. Για να το επιτύχουν αυτό οι μαθητές θα πρέπει να σχηματίσουν

Σχήμα 1.9: Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της χημείας, όπως τα περιέγραψε ο Johnstone.

νοητικές εικόνες που να απεικονίζουν τα σωματίδια στα αντίστοιχα παρατηρήσιμα φαινόμενα. Ωστόσο, επειδή μέχρι στιγμής δεν είναι εφικτή η απ' ευθείας όραση των σωματιδίων, οι χημικοί χρησιμοποιούν την ατομική θεωρία για να τα περιγράψουν. Η σχέση ανάμεσα στα επίπεδα των χημικών αναπαραστάσεων και στο βαθμό που το περιεχόμενό τους προέρχεται από την αντιληπτή πραγματικότητα, ή βασίζεται σε κάποια επιστημονική θεωρία, απεικονίζεται διαγραμματικά στο σχήμα 1.10.

Τα πραγματικά και ορατά χαρακτηριστικά του μακροσκοπικού επιπέδου και τα επίσης πραγματικά, αλλά αθέατα χαρακτηριστικά του μικροσκοπικού επιπέδου απεικονίζουν το ίδιο φαινόμενο ή την ίδια ουσία, αλλά σε διαφορετική κλίμακα. Η διττή φύση των χημικών φαινομένων και των αντίστοιχων αναπαραστάσεων, που συνδέουν το μακροσκοπικό και το μικροσκοπικό επίπεδο ταυτόχρονα, επισημαίνει τη σύνθετη φύση της χημείας και τη μεγάλη πνευματική πρόκληση που αντιμετωπίζει κάποιος νεοεισερχόμενος στον κλάδο, ο οποίος θα μπορούσε να συντριβεί από τις εννοιολογικές απαιτήσεις που υπάρχουν κατά τη μετάβαση μεταξύ των τριών επιπέδων αναπαράστασης[25].



Σχήμα 1.10: Η σχέση ανάμεσα στα επίπεδα αναπαράστασης και στην αντιληπτή πραγματικότητα.

1.7 Ο ρόλος των χημικών αναπαραστάσεων στη διδασκαλία & τη μάθηση της χημείας

Όπως φαίνεται από όλα τα παραπάνω, η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία περιλαμβάνει την ικανότητα σκέψης ανάμεσα στο μακροσκοπικό, στο μικροσκοπικό και στο συμβολικό επίπεδο, δηλαδή την ικανότητα αναπαράστασης και μετάφρασης των χημικών φαινομένων χρησιμοποιώντας μακροσκοπικές, μικροσκοπικές και συμβολικές μορφές αναπαραστάσεων[26,27]. Στην επίτευξη αυτού του στόχου η χρησιμοποίηση των χημικών αναπαραστάσεων είναι καταλυτική, διότι συνεισφέρουν στη δημιουργία των νοητικών μοντέλων[28]. Οι αναπαραστάσεις παρέχουν στους μαθητές τη δυνατότητα να οπτικοποιούν τις έννοιες και άρα να δημιουργούν νοητικά μοντέλα γι' αυτές[29].

Όπως αναφέρουν οι Kozma και Russell[30], η παραπάνω άποψη επιβεβαιώνεται από τον Mayer, σύμφωνα με τον οποίο η μάθηση επιτυγχάνεται με την ενεργητική επιλογή, την οργάνωση και την ενσωμάτωση των πληροφοριών από ακουστικές ή/και οπτικές εισροές (inputs). Ο Mayer, βασιζόμενος στη γνωστική ψυχολογία και τις αρχές σχεδίασης, ανέπτυξε οκτώ αρχές για τη μάθηση με πολυμέσα, εκ των οποίων οι δύο σχετίζονται με τις χημικές αναπαραστάσεις. Αυτές είναι:

- *Η αρχή των πολυμέσων*, σύμφωνα με την οποία ο συνδυασμός λέξεων και εικόνων είναι πιο αποτελεσματικός στην προαγωγή της βαθύτερης μάθησης, συγκριτικά με τη χρησιμοποίηση μόνο λέξεων.
- *Η αρχή της συνοχής*, σύμφωνα με την οποία οι ξένες (μη οικείες) λέξεις, ήχοι ή εικόνες μπορούν να αποσπάσουν την προσοχή των μαθητών και, προκειμένου να εξυπηρετηθεί η ουσιαστική μάθηση, θα πρέπει να αποκλείονται.

Η παρουσίαση διδακτικών υλικών που περιέχουν λέξεις και εικόνες, συγκριτικά με υλικά που περιέχουν μόνο λέξεις, επιτρέπει στους μαθητές να μάθουν δύσκολες έννοιες και αρχές, να διατηρήσουν περισσότερο αυτά που έμαθαν και να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν αυτά που έμαθαν για να επιλύουν προβλήματα[30].

Εκτός από την εννοιολογική κατανόηση, οι χημικές αναπαραστάσεις παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και στην επίλυση των προβλημάτων στη χημεία. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι ανεξάρτητα από το είδος ή το βαθμό δυσκολίας ενός προβλήματος, οι μαθητές που είναι σε θέση: α) να χρησιμοποιούν επιτυχώς τις συμβολικές αναπαραστάσεις, β) να κατασκευάζουν περισσότερες από μία αναπαραστάσεις για ένα πρόβλημα και γ) να κάνουν αλληλομετατροπές μεταξύ των αναπαραστάσεων, είναι πιο επιτυχημένοι στην επίλυση προβλημάτων[29]. Κατά την επίλυση προβλημάτων λαμβάνουν χώρα πρωταρχικά στάδια, στα οποία οι σχετικές πληροφορίες αποκωδικοποιούνται από τις εκφωνήσεις και το πρόβλημα αναδομείται. Μόνο εφόσον πραγματοποιηθούν με επιτυχία αυτά τα γνωστικά ανακατασκευαστικά στάδια ο μαθητής μπορεί να προχωρήσει σε πιο αναλυτικά στάδια για την επίλυση του προβλήματος[32,33]. Ωστόσο, οι καθηγητές χημείας συχνά παραμελούν αυτά τα αρχικά στάδια και δίνουν περισσότερη σημασία στα μετέπειτα στάδια που αφορούν στο κυρίως πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει διότι οι ίδιοι μπορούν να χρησιμοποιούν τις γνώσεις τους για να εντοπίσουν τις βαθύτερες αρχές και έννοιες σε ένα πρόβλημα, σε αντίθεση με τους μαθητές που «βλέπουν» μόνο αντικείμενα και γεγονότα[6,34]. Η χρήση των συμβολικών συστημάτων, δηλαδή η κατασκευή αναπαραστάσεων, παρέχει στους μαθητές εξωτερικές

αναπαραστάσεις, τις οποίες οι χημικοί δημιουργούν από μόνοι τους, και έτσι, αυτό βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν την ύλη και τα φαινόμενα με τον ίδιο τρόπο με τους χημικούς[6].

Από όλα τα παραπάνω συνάγεται ότι η ουσιαστική μάθηση στη χημεία απαιτεί την προσεκτική ανάπτυξη της ικανότητας χρησιμοποίησης διαφόρων μορφών αναπαραστάσεων[35].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

2.1 Εισαγωγή

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[9]. Επίσης, υποθέτουν ότι οι μαθητές μπορούν εύκολα να μεταφερθούν από το ένα επίπεδο στο άλλο[9]. 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. Πρόκειται για παρανοήσεις που αφορούν στην κατανόηση και την ερμηνεία των αναπαραστάσεων, στη μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων και στη δημιουργία αναπαραστάσεων.

2.2 Κατανόηση & ερμηνεία αναπαραστάσεων

Η πρώτη κατηγορία αυτών των παρανοήσεων αφορά στην κατανόηση και την ερμηνεία των χημικών αναπαραστάσεων. Οι μαθητές δυσκολεύονται να «διαβάσουν» σωστά τις αναπαραστάσεις και να καταλάβουν τις πληροφορίες και τη γνώση που περιέχουν. Δηλαδή, δυσκολεύονται να αποκωδικοποιήσουν το νόημα των αναπαραστάσεων[24,28,36-38].

2.2.1 Νόημα συμβόλων

Μια βασική δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές είναι στην ερμηνεία των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις αναπαραστάσεις[17,38-41]. Όπως γράφει ο

Bowen[26], ο Herron είχε πει χαρακτηριστικά στην ομιλία του στο Nyholm Symposium της Royal Society of Chemistry στο Λονδίνο το 1983, ότι: *«Αυτά που γράφουν στο χαρτί οι έμπειροι χημικοί και αυτά που γράφουν οι μαθητές μπορεί να φαίνεται ότι είναι παρόμοια, αλλά οι διαδικασίες που ακολουθούνται είναι πολύ διαφορετικές. Οι χημικοί χρησιμοποιούν τα σύμβολα για να αναπαραστήσουν φυσικά φαινόμενα τα οποία φαντάζονται ότι λαμβάνουν χώρα σύμφωνα με τους γενικούς νόμους της φύσης, ενώ οι μαθητές χρησιμοποιούν τα σύμβολα για να αναπαραστήσουν σύμβολα τα οποία στη συνέχεια χειρίζονται σύμφωνα με απομνημονευμένους κανόνες οι οποίοι δεν έχουν καμία σχέση με την πραγματικότητα»*.

Πολλές παρανοήσεις έχουν ανιχνευθεί στην ερμηνεία των μοριακών τύπων. Κάποιες από αυτές είναι ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να συσχετίσουν σωστά τα χημικά σύμβολα με τα αντίστοιχα χημικά στοιχεία, δυσκολεύονται να ερμηνεύσουν σωστά τους δείκτες και κατά συνέπεια ερμηνεύουν λάθος την αναλογία των ατόμων στις χημικές ενώσεις, αποδίδουν στους μοριακούς τύπους επιπλέον νοήματα από αυτά που έχουν κ.α. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι ο δείκτης 2 αντιπροσωπεύει ένα διπλό δεσμό ή θεωρούν ότι οι δείκτες διπλασιάζονται όταν υπάρχει διπλός δεσμός ή θεωρούν ότι οι δείκτες υποδηλώνουν τον αριθμό των επιπρόσθετων ηλεκτρονίων κ.α. Ακόμη, υπάρχουν μαθητές που αποδίδουν επιπρόσθετη σημασία στη σειρά με την οποία αναγράφονται τα στοιχεία στους μοριακούς τύπους. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι αυτή είναι αλφαβητική ή καθορίζεται από τον αριθμό των ατόμων του κάθε στοιχείου στην ένωση ή καθορίζεται από τον ατομικό αριθμό των στοιχείων κ.α.[40]. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι πολλοί μαθητές, ακόμα και αφού έχουν διδαχτεί τη σωματιδιακή φύση της χημείας, θεωρούν ότι οι μοριακοί τύποι είναι συντομογραφίες των ονομάτων και δεν αντιλαμβάνονται ότι αναπαριστάνουν τη σύσταση ή τη δομή μιας χημικής ένωσης[17].

Αξιοσημείωτες παρανοήσεις έχουν ανιχνευθεί και στην ερμηνεία των ηλεκτρονιακών δομών. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι κάποιοι μαθητές αδυνατούν να αναγνωρίσουν το νόημα των συμβόλων στις ηλεκτρονιακές δομές (π.χ. διαβάζουν το $1s^2$ ως «1 s τετράγωνο»), κάποιοι έχουν δυσκολίες στην αναγνώριση των στιβάδων, κάποιοι έχουν δυσκολίες στην αναγνώριση του αριθμού των ηλεκτρονίων και των τροχιακών, ενώ κάποιοι αποδίδουν στις ηλεκτρονιακές δομές ιδιότητες που δεν έχουν κ.α. Για παράδειγμα, θεωρούν

ότι η δομή $1s^2$ $2s^1$ αντιπροσωπεύει ταυτόχρονα δύο στοιχεία: το ήλιο και το λίθιο ή ότι μια δομή που περιέχει s και p τμήματα αντιστοιχεί σε χημική ένωση.

2.2.2 Επιφανειακά χαρακτηριστικά αναπαραστάσεων

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία ερμηνείας των χημικών αναπαραστάσεων διαδραματίζει το γεγονός ότι οι μαθητές κατανοούν τις αναπαραστάσεις μέσω των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών, τα οποία τα ανάγουν σε μακροσκοπικό επίπεδο[6,42,43]. Αυτό συμβαίνει διότι συχνά οι μαθητές και οι φοιτητές βλέπουν μόνο αντικείμενα, σύμβολα και γεγονότα στις αναπαραστάσεις, ενώ δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις γνώσεις τους για να αντιληφθούν τις γενικότερες αρχές που βρίσκονται κάτω από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι οι μαθητές με υψηλό επίπεδο προϋπάρχουσων γνώσεων εστιάζουν περισσότερο στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις (επειδή κατανοούν τις υποκείμενες έννοιες), σε αντίθεση με αυτούς που έχουν χαμηλό επίπεδο προϋπάρχουσων γνώσεων και οι οποίοι εστιάζουν περισσότερο στις μακροσκοπικές αναπαραστάσεις (επειδή μένουν στα επιφανειακά χαρακτηριστικά)[44]. Για τον ίδιο λόγο δεν μπορούν να διαπεράσουν τα όρια μεταξύ των αναπαραστάσεων ώστε να τις κατηγοριοποιήσουν σε μεγαλύτερες ομάδες.

Συνεπώς, η κατανόηση της χημείας ξεκινά να δομείται πάνω στα αντιληπτικά ή επιφανειακά χαρακτηριστικά των μακροσκοπικών ενδείξεων (π.χ. στην αλλαγή του χρώματος) και στις συμβολικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται (π.χ. στο χρώμα που έχουν οι σφαίρες που συμβολίζουν τα σωματίδια, στις επισημάνσεις των γραφικών παραστάσεων κ.α.)[10]. Δηλαδή, οι μαθητές/φοιτητές χρησιμοποιούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των χημικών αναπαραστάσεων για να κατανοήσουν τη χημεία[6].

2.2.3 Δυναμικές διαδικασίες

Πέρα από την απλή ερμηνεία των συμβόλων στις χημικές αναπαραστάσεις, οι μαθητές αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατανόηση και την

ερμηνεία των χημικών εξισώσεων και της χημικής ισορροπίας. Συγκεκριμένα, ακόμα και αν κατανοούν τα χημικά σύμβολα, δυσκολεύονται να αναγνωρίσουν ότι οι χημικές εξισώσεις και η χημική ισορροπία αναπαριστάνουν δυναμικές και αλληλεπιδραστικές διαδικασίες, και γι' αυτό πολύ συχνά κατασκευάζουν στατικά μοντέλα γι' αυτές. Επίσης, δεν αναγνωρίζουν το ουσιαστικό νόημα της ισοστάθμισης των χημικών εξισώσεων[16,38,40-42].

Αναφορικά με τη χημική ισορροπία, οι μαθητές δυσκολεύονται να αντιληφθούν το μίγμα της ισορροπίας ως μια ενιαία οντότητα, αλλά θεωρούν ότι οι δύο πλευρές της χημικής εξίσωσης είναι ξεχωριστές και τις αντιμετωπίζουν σαν να είναι σε ισορροπία. Επιπρόσθετη δυσκολία προκαλεί το γεγονός ότι μπερδεύουν τη χημική ισορροπία με τη σημασία που έχει ο όρος «ισορροπία» στην καθημερινή ζωή, όπου σημαίνει μια στατική ισορροπημένη κατάσταση, όπως για παράδειγμα η ισορροπία στο ποδήλατο, η πνευματική ισορροπία, η ισορροπία στο βάρος κτλ. Επίσης, οι μαθητές συχνά υποθέτουν ότι όταν μια αντίδραση φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας τότε σταματά να εξελίσσεται. Ερευνητές σημειώνουν ότι όταν η αρχή Le Chatelier αποστηθίζεται και εφαρμόζεται μηχανικά τότε οι μαθητές δυσκολεύονται ακόμα περισσότερο να αντιληφθούν ότι το μίγμα στην κατάσταση ισορροπίας είναι ενιαίο, ενώ λόγω της αφηρημένης φύσης των προβλημάτων ισορροπίας οι αλγεβρικοί υπολογισμοί εφαρμόζονται επίσης μηχανικά, με αποτέλεσμα οι μαθητές να μην καταλαβαίνουν το πραγματικό νόημα των αλγεβρικών και γενικά όλων των συμβόλων που χρησιμοποιούν[46].

Οι παρανοήσεις επεκτείνονται στις συγκεντρώσεις των ουσιών κατά τις χημικές αντιδράσεις, όπου πολλοί μαθητές πιστεύουν ότι οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων συνδέονται μεταξύ τους με μια απλή αριθμητική σχέση ή ότι στην ισορροπία οι συγκεντρώσεις των προϊόντων ισούνται με τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων ή ότι οι συγκεντρώσεις όλων των ουσιών χωρίς να είναι δυνατόν να μεταβληθούν. Επίσης, συχνά επικρατεί η λανθασμένη αντίληψη ότι όταν μια χημική ισορροπία διαταραχθεί το πρώτο αποτέλεσμα που θα συμβεί είναι η αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης που ευνοείται και η μείωση της ταχύτητας της αντίθετης αντίδρασης, αντίληψη που

προέρχεται από την ανεπιτυχή κατανόηση της δυναμικής φύσης της ισορροπίας[45].

2.3 Μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων

Μια δεύτερη κατηγορία δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές/φοιτητές αφορά στη μετάφραση-μετάβαση μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων της χημείας. Ακόμα και όταν οι μαθητές/φοιτητές κατανοούν το νόημα των χημικών αναπαραστάσεων, δυσκολεύονται να μετατρέψουν μια αναπαράσταση από τη μια μορφή στην άλλη ή δυσκολεύονται να αναγνωρίσουν ότι δύο αναπαραστάσεις είναι ισοδύναμες μεταξύ τους, δηλαδή ότι αναπαριστάνουν το ίδιο φαινόμενο[6,9,28,34,50-53]. Η μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων είναι μια διαδικασία επεξεργασίας πληροφοριών, η οποία απαιτεί την κατανόηση των εννοιών σε τέτοιο βαθμό ώστε ο μαθητής αφενός να μπορεί να ερμηνεύσει τις πληροφορίες που παρέχει μια αναπαράσταση και αφετέρου να μπορεί να συμπεράνει τις πληροφορίες που απαιτούνται για να κατασκευάσει μια άλλη ισοδύναμη αναπαράσταση[40]. Οι δυσκολίες των μαθητών/φοιτητών αφορούν τόσο στη μετάφραση μεταξύ αναπαραστάσεων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό ή συμβολικό), όσο και μεταξύ αναπαραστάσεων σε διαφορετικά επίπεδα (π.χ. από μικροσκοπικό σε συμβολικό κτλ.).

Κάποιες περιπτώσεις μετάφρασης που έχει διαπιστωθεί ότι οι μαθητές αδυνατούν να πετύχουν είναι οι εξής: Αδυνατούν να μεταφράσουν συμβολικές αναπαραστάσεις όπως η $Cl_{2(g)}$ στις αντίστοιχες μικροσκοπικές γιατί θεωρούν ότι αναπαριστάνουν ένα μόνο σωματίδιο[39]. Ακόμη, δυσκολεύονται να κάνουν μεταφράσεις μεταξύ ηλεκτρονιακών δομών, μοντέλων σφαίρας-ράβδου και μοριακών τύπων, για απλές ενώσεις, όπως το H_2O, η CH_2O, το N_2, το CO_2 κ.α.[40] Μεγάλη δυσκολία έχει διαπιστωθεί και κατά την πρόβλεψη της γεωμετρίας και της πολικότητας ενός μορίου όταν δίνεται η δομή Lewis ή ο μοριακός του τύπος[54]. Τέλος, χαρακτηριστική είναι η αδυναμία των μαθητών να σχηματίσουν, να χειριστούν νοητικά και να κατανοήσουν τρισδιάστατες αναπαραστάσεις όταν δίνονται δισδιάστατες ή λεκτικές αναπαραστάσεις[55-61].

Οι δυσκολίες κατά τη μετάφραση μπορούν να αποδοθούν σε διάφορους παράγοντες. Καταρχήν, στην ελλιπή εννοιολογική κατανόηση των αναπαραστάσεων και στην ανεπιτυχή εφαρμογή πληροφοριών που σχετίζονται με αυτές[40,54]. Η μετάφραση πραγματοποιείται μέσω μιας εννοιολογικής ερμηνείας της αρχικής αναπαράστασης και μιας επακόλουθης κατασκευής της ζητούμενης αναπαράστασης, η οποία καθοδηγείται από τα συμπεράσματα της αρχικής αναπαράστασης. Δηλαδή, η εννοιολογική γνώση είναι αυτή που επιτρέπει στους μαθητές να ερμηνεύσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από την αρχική αναπαράσταση και να συμπεράνουν τα στοιχεία που απαιτούνται για να κατασκευάσουν την αναπαράσταση-στόχο. 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[44]. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει η απουσία καθιερωμένων στρατηγικών μετάφρασης[40,61], καθώς και η αφηρημένη φύση των δισδιάστατων αναπαραστάσεων[55].

2.4 Κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων

Μια τρίτη κατηγορία δυσκολιών αφορά στην κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων[6,38,52,62-68]. Οι μαθητές εμφανίζουν ιδιαίτερη αδυναμία να σχεδιάσουν μικροσκοπικές αναπαραστάσεις ακόμα και για απλά σώματα (όπως είναι ο αέρας, τα διαλύματα οξέων και βάσεων κ.α.) ή για θεμελιώδεις έννοιες (όπως είναι η δομή των μορίων, οι φυσικές καταστάσεις κ.α.)[38,52,62-65,67,68]. Ως βαθύτερη αιτία αυτών των δυσκολιών θεωρείται η αδυναμία των μαθητών να εγκαταλείψουν το συνεχές μοντέλο της ύλης και να υιοθετήσουν το σωματιδιακό (ατομικό). Δηλαδή, υπάρχει σύγκρουση ανάμεσα στο διαισθητικό-συνεχές μοντέλο και στο επιστημονικό-σωματιδιακό μοντέλο το οποίο διδάσκονται[16,63,65]. Η παραπάνω δυσκολία μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η ζητούμενη εννοιολογική αλλαγή απαιτεί την αναθεώρηση θεμελιωδών προϋποθέσεων στις αρχικές γνωστικές δομές και οι μαθητές στην προσπάθειά τους να ενσωματώσουν τις νέες πληροφορίες στις αρχικές γνωστικές δομές οδηγούνται σε πολλές παρανοήσεις[69]. Το αποτέλεσμα είναι

να δημιουργούν λανθασμένες νοητικές αναπαραστάσεις και να μην μπορούν να οπτικοποιήσουν σωστά τα φαινόμενα της χημείας σε μικροσκοπικό επίπεδο[6,9,28,70]. Αυτό έχει ως συνέπεια να θεωρούν ότι τα άτομα και τα μόρια είναι πολύ μικρά τμήματα των ουσιών από τις οποίες προέρχονται και λόγω αυτής της παρανόησης να αποδίδουν στα μόρια και στα άτομα τις μακροσκοπικές ιδιότητες των ουσιών[16,41,64]. Συχνά, η έλλειψη νοητικών μοντέλων στους μαθητές οφείλεται στην αγνόηση ή περιθωριοποίηση του μικροσκοπικού επιπέδου κατά τη διδασκαλία και τη μάθηση, συγκριτικά με το μακροσκοπικό και συμβολικό.

Χαρακτηριστικές παρανοήσεις των μαθητών είναι ότι απεικονίζουν μικροσκοπικά τον αέρα με κυματιστές γραμμές[63] και τα διαλύματα των οξέων και των βάσεων με φυσαλίδες ή κύματα[65]. Θεωρούν ότι η θερμότητα προκαλεί διαστολή των μορίων, ότι τα άτομα μοιάζουν με συμπαγείς σφαίρες, ότι μεταξύ των ατόμων υπάρχει ύλη (όπως αέρας, οξυγόνο, ηλεκτρικά φορτία κ.α.), ότι τα μόρια του νερού περιέχουν συστατικά όπως νερό (δηλαδή δεν αναγνωρίζουν ότι τα μόρια του νερού είναι το νερό), αέρα, χλώριο κ.α., ότι η σύσταση των μορίων νερού εξαρτάται από το μέγεθος, τη θερμοκρασία και τη φάση του συστήματος, ότι τα μόρια του νερού περιέχουν εκατοντάδες χιλιάδες άτομα, ότι το μέγεθος του μορίου του νερού είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος ενός μικροβίου ή μιας τελείας, ότι τα μόρια στη στερεή κατάσταση είναι μεγαλύτερα, ότι το σχήμα των μορίων επηρεάζεται από το σχήμα του δοχείου και τη θερμοκρασία κ.α.[64] Ακόμα, ενώ μπορούν να ισοσταθμίζουν επιτυχώς μία χημική εξίσωση, μόνο ένα μικρό ποσοστό μπορεί να σχεδιάζει σωστές αντίστοιχες μικροσκοπικές αναπαραστάσεις[38,39,68].

Γενικά, οι παρανοήσεις του ατομικού μοντέλου εμποδίζουν την ουσιαστική κατανόηση των δομικών ιδιοτήτων της ύλης και επιδρούν συνολικά στη μάθηση της χημείας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η επιτυχής επίλυση προβλημάτων αλγοριθμικής φύσεως, όπως είναι τα στοιχειομετρικά προβλήματα, δεν ισοδυναμεί με την εννοιολογική κατανόηση των αντίστοιχων χημικών φαινομένων, άποψη την οποία εσφαλμένα έχουν πολλοί καθηγητές[34,37,38,47,49,68,71,72]. Για παράδειγμα, προπτυχιακοί φοιτητές μπορούν να λύνουν με επιτυχία κλασικά προβλήματα στους νόμους των αερίων, αλλά

δεν μπορούν να απαντήσουν σε αντίστοιχες ερωτήσεις που περιέχουν σωματιδιακές εικόνες ή γνωρίζουν ότι το αέριο καταλαμβάνει ολόκληρο τον όγκο του δοχείου στο οποίο περιέχεται, όμως σε αντίστοιχη ερώτηση δεν επιλέγουν την ανάλογη εικόνα για τα σωματίδια[71]. Συνεπώς, η ικανότητα επίλυσης κλασικών προβλημάτων στους νόμους των αερίων δεν αντανακλά πάντα σωστές εννοιολογικές απόψεις για τη συμπεριφορά των αερίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Το εύρος των δυσκολιών και των παρανοήσεων σχετικά με τις χημικές αναπαραστάσεις, σε συνδυασμό με τη μεγάλη σημασία που έχουν αυτές στη μάθηση της χημείας, οδήγησε στην ανάγκη να δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες και δυνατότητες για τους μαθητές προκειμένου να μπορέσουν να κατανοήσουν σε βάθος τις χημικές αναπαραστάσεις και να κατασκευάσουν εννοιολογικούς συνδέσμους μεταξύ των εννοιών και των αναπαραστάσεων αυτών.

3.2 Έμφαση στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις

Μία βασική στρατηγική που έχει προταθεί προς αυτή την κατεύθυνση είναι η χρησιμοποίηση των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων σε μεγαλύτερη κλίμακα και η μεγαλύτερη έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο της χημείας[31,40,52,62,66,71,73-81]. Οι παρανοήσεις και οι δυσκολίες των μαθητών έχουν τη ρίζα τους στην αδυναμία οπτικοποίησης της χημείας μικροσκοπικά και στον ελλιπή συσχετισμό των εννοιών και των αρχών της χημείας με το μικροσκοπικό επίπεδο[14,15,18-20,81-83]. Εάν οι μαθητές κατανοήσουν το μικροσκοπικό επίπεδο, τότε θα ξεπεράσουν τις δυσκολίες με τις χημικές αναπαραστάσεις και θα είναι σε θέση να ερμηνεύουν, να μεταφράζουν και να κατασκευάζουν χημικές αναπαραστάσεις, με αποτέλεσμα να αποκτήσουν μια συμπαγή και ενιαία κατανόηση και γνώση της χημείας. Συνεπώς, θα πρέπει να παρέχονται στους μαθητές πολύ περισσότερες δυνατότητες να «δουν» μικροσκοπικές αναπαραστάσεις[20,31,40,62,66,71,73,75-78,84]. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αν δοθεί έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο, τότε βελτιώνεται η απόδοση των μαθητών σε όλα τα επίπεδα της χημείας (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό)[73].

3.3 Πολλαπλές αναπαραστάσεις

Μία δεύτερη στρατηγική είναι η χρησιμοποίηση ταυτόχρονων πολλαπλών αναπαραστάσεων και στα τρία επίπεδα της χημείας[24,27,49,53,74,77,85-93]. Δηλαδή, οι αναπαραστάσεις των φαινομένων θα πρέπει να παρουσιάζονται ταυτόχρονα σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό η παρουσίαση των αναπαραστάσεων να συνοδεύεται από σαφείς συνδέσεις και αντιστοιχίες μεταξύ των διαφορετικών αναπαραστάσεων, ενώ ιδιαίτερα χρήσιμη είναι και η κατασκευή αναπαραστάσεων από τους ίδιους τους μαθητές[9,27,34,35,52,53,77,85-89,91,94,95].

Η στρατηγική αυτή είναι συμβατή με τη θεωρία διπλής κωδικοποίησης του Paivio[95], σύμφωνα με την οποία τα εννοιολογικά και τα οπτικά συστατικά των αναπαραστάσεων μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Λέξεις για τις οποίες έχουμε τόσο μία οπτική εικόνα, όσο και μια εννοιολογική αναπαράσταση (π.χ. πυραμίδα, σκύλος) είναι πιο εύκολο να απομνημονευθούν, συγκριτικά με λέξεις οι οποίες μπορούν να βασιστούν μόνο σε έναν τύπο αναπαράστασης (π.χ. ελευθερία, πόλεμος). Η ελευθερία είναι μια αφηρημένη έννοια η οποία απαιτεί μία λεκτική περιγραφή για να αποκτήσει νόημα, ενώ η πυραμίδα είναι ένα συμπαγές σχήμα για το οποίο είναι δυνατόν να αναπτυχθεί τόσο μια λεκτική όσο και μια οπτική περιγραφή. Σύμφωνα με τη θεωρία της διπλής κωδικοποίησης, τα πολλαπλά μορφοσχήματα (formats) (στην περίπτωσή μας οι πολλαπλές αναπαραστάσεις) παρέχουν πολλαπλές νύξεις (cues) για την κωδικοποίηση και την ανάκληση πληροφοριών από τη μνήμη. Συγκεκριμένα υποσυστήματα στη μνήμη εργασίας επεξεργάζονται οπτικές και λεκτικές πληροφορίες ξεχωριστά, υποδηλώνοντας ότι οι πολλαπλοί τύποι παρουσιάσεων ευθυγραμμίζονται με τη λειτουργία της μνήμης[96]. Συνεπώς, εφαρμόζοντας τη θεωρία του Paivio στη μάθηση της χημείας θα μπορούσαμε να πούμε ότι η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων και τη σύγκριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών σε αυτές.

3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση των πολλαπλών αναπαραστάσεων

Η Ainsworth[94] μελέτησε θεωρητικά τις λειτουργίες των πολλαπλών αναπαραστάσεων μέσω υπολογιστή, γενικότερα στη μαθησιακή διαδικασία, και κατασκεύασε μια λειτουργική ταξινομία γι' αυτές, σύμφωνα με την οποία οι κύριες λειτουργίες των πολλαπλών αναπαραστάσεων στη μάθηση είναι τρεις: 1) Περιέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες ή στηρίζουν συμπληρωματικές γνωστικές διαδικασίες. 2) Εξαναγκάζουν πιθανές ερμηνείες αναπαραστάσεων. 3) Ενισχύουν τη βαθύτερη κατανόηση μιας κατάστασης. Παρακάτω περιγράφονται οι λειτουργίες των πολλαπλών αναπαραστάσεων.

1η Λειτουργία των πολλαπλών αναπαραστάσεων: Η πρώτη λειτουργία, ότι δηλαδή οι πολλαπλές αναπαραστάσεις είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους, στηρίζεται στο γεγονός ότι οι αναπαραστάσεις διαφέρουν μεταξύ τους είτε ως προς την πληροφορία που μεταφέρουν είτε ως προς τη γνωστική διαδικασία που υποστηρίζουν. Έτσι, συνδυάζοντας αναπαραστάσεις που είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους ο μαθητής ωφελείται από το σύνολο των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η κάθε μία αναπαράσταση ξεχωριστά.

Οι αναπαραστάσεις μπορούν να είναι συμπληρωματικές ως προς τις γνωστικές διαδικασίες που υποστηρίζουν και οι πολλαπλές γνωστικές διαδικασίες είναι χρήσιμες στη μάθηση για τους εξής λόγους: α) Εκτενής βιβλιογραφία δείχνει ότι οι αναπαραστάσεις που περιέχουν ισοδύναμες πληροφορίες μπορούν να οδηγήσουν στην εξαγωγή διαφορετικών συμπερασμάτων, καθώς, επίσης, οι αναπαραστάσεις διαφέρουν και ως προς τη συμπερασματική τους δύναμη (π.χ. οι πίνακες κάνουν σαφές και συγκεκριμένο το μήνυμα που περιέχουν). β) Για να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένας μαθητής είναι απαραίτητο να κάνει διαφορετικά είδη εργασιών, όμως, είναι σπάνιο μια αναπαράσταση να είναι αποτελεσματική για όλες τις εργασίες. Συνήθως, κάθε αναπαράσταση είναι χρήσιμη για μερικές από αυτές. γ) Οι μαθητές έχουν διαφορετική εμπειρία και επιδεξιότητα με κάθε αναπαράσταση και γι' αυτό είναι χρήσιμο να μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορες μορφές αναπαραστάσεων, ώστε να μπορούν να διαλέξουν την αναπαράσταση με την οποία νοιώθουν πιο εξοικειωμένοι. δ) Σύμφωνα με την υπόθεση «ταίριασμα - μη ταίριασμα» η επίδοση είναι πιο πιθανό να βελτιωθεί

εάν οι πληροφορίες που απαιτούνται από το πρόβλημα είναι της ίδιας δομής με αυτές που παρέχονται από τη σημειογραφία της αναπαράστασης. ε) Οι αναπαραστάσεις και οι στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων αλληλεπιδρούν, χωρίς να είναι απαραίτητο κάποια αναπαράσταση (που σχετίζεται με κάποια στρατηγική) να είναι ανώτερη από τις άλλες. Έστω και αν είναι ισοδύναμες οι αναπαραστάσεις, η χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων είναι ωφέλιμη, διότι η κάθε αναπαράσταση έχει έμφυτα κάποιους περιορισμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να αντισταθμιστούν χρησιμοποιώντας κάποια άλλη αναπαράσταση[94].

Επίσης, οι αναπαραστάσεις μπορεί να είναι συμπληρωματικές ως προς τις πληροφορίες που περιέχουν. Η Ainsworth[94] αναφέρει ότι μια αναπαράσταση δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική για να μεταφέρει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται ή ακόμα και αν όλες οι πληροφορίες μπορούν να συνδυαστούν σε μια αναπαράσταση, τότε το αποτέλεσμα θα ήταν μια υπερ-πολύπλοκη αναπαράσταση για τους μαθητές. Για το λόγο αυτό οι πολλαπλές αναπαραστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με δύο τρόπους: 1^{ον}) Οι διαφορετικές αναπαραστάσεις μπορούν να παρουσιάζουν διαφορετικές πληροφορίες, καλύπτοντας ξεχωριστές πλευρές ενός θέματος. Αυτός ο τρόπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι πληροφορίες είναι πολύπλοκες ή όταν οι μαθητές επικεντρώνονται στις διαφορετικές πλευρές ενός θέματος, οπότε επιτυγχάνονται καλύτερα οι στόχοι. 2^{ον}) Οι διαφορετικές αναπαραστάσεις μπορούν να επικαλύπτονται ως προς μερικές πληροφορίες, ενώ ως προς μερικές άλλες να είναι μοναδικές. Ως προς τις κοινές πληροφορίες, η κάθε αναπαράσταση μπορεί να στηρίζει διαφορετικές ερμηνείες του θέματος. Επίσης, μια αναπαράσταση μπορεί να παρέχει λειτουργικές πληροφορίες (π.χ. διάγραμμα), ενώ μια άλλη να παρέχει φυσικές πληροφορίες (π.χ. πραγματική απεικόνιση διάταξης).

2^{η} Λειτουργία των πολλαπλών αναπαραστάσεων: Η δεύτερη λειτουργία των πολλαπλών αναπαραστάσεων είναι ότι μια αναπαράσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαναγκάσει την ερμηνεία μιας άλλης αναπαράστασης. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: 1^{ον}) Όταν μια αναπαράσταση είναι οικεία στους μαθητές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να στηρίξει την ερμηνεία

μιας μη οικείας ή μιας αφηρημένης αναπαράστασης. Με αυτό τον τρόπο ο μαθητής στηρίζεται καθώς επεκτείνει ή αναθεωρεί τις παρανοήσεις του, σχετικά με τη μη οικεία αναπαράσταση. Δηλαδή, ο κύριος σκοπός δεν είναι η παροχή νέων πληροφοριών, αλλά να στηριχτούν οι λιγότερο οικείες αναπαραστάσεις. 2ον) Όταν μια αναπαράσταση είναι αφηρημένη ή μη οικεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαναγκάσει την ερμηνεία μιας άλλης αναπαράστασης, χρησιμοποιώντας κάποια έμφυτα χαρακτηριστικά της πρώτης.

3η Λειτουργία των πολλαπλών αναπαραστάσεων: Όπως αναφέρει η Ainsworth[94], η τρίτη λειτουργία των πολλαπλών αναπαραστάσεων, δηλαδή ότι αυτές ενισχύουν τη βαθύτερη κατανόηση μιας κατάστασης, βασίζεται στην άποψη του Kaput, σύμφωνα με την οποία οι γνωστικές συνδέσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων δημιουργούν ένα σύνολο, το οποίο είναι ανώτερο από το απλό άθροισμα των επιμέρους τμημάτων. Έτσι, μας επιτρέπουν να «δούμε» πολύπλοκες ιδέες με διαφορετικό τρόπο και να τις εφαρμόσουμε πιο αποτελεσματικά, δηλαδή μας επιτρέπουν να επιτύχουμε βαθύτερη κατανόηση. Η Ainsworth[94] εξετάζει τη βαθύτερη κατανόηση: α) ως προώθηση της αφαιρετικής σκέψης, β) ως ενίσχυση της γενίκευσης και γ) ως διδασκαλία των σχέσεων μεταξύ των αναπαραστάσεων.

Η προώθηση της αφαιρετικής σκέψης επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση των πολλαπλών αναπαραστάσεων, διότι ο μαθητής οδηγείται σε μεταφράσεις και σε συνδέσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων και αυτού του είδους η γνώση μπορεί να εκθέσει την υπογραμμισμένη δομή του παρουσιαζόμενου θέματος. Σύμφωνα με τον Dienes η εννοιολογική ποικιλία, δηλαδή η παρουσίαση μιας έννοιας με διαφορετικούς τρόπους, παρέχει στους μαθητές τις ευκαιρίες για να επιτύχουν αφαιρέσεις. Ενώ σύμφωνα με τον Schwartz, οι πολλαπλές αναπαραστάσεις οδηγούν σε μια πιο αφηρημένη κατανόηση.

Η γενίκευση θεωρείται ως ένας τρόπος επέκτασης της γνώσης σε νέες περιπτώσεις, χωρίς όμως σημαντικές αλλαγές στη φύση της γνώσης. Αντίθετα με την αφαίρεση, η επέκταση της γνώσης δεν απαιτεί αναδιοργάνωση σε υψηλότερο επίπεδο. Σε ότι αφορά στις αναπαραστάσεις, η γενίκευση μπορεί να αναφέρεται σε δύο πλευρές ενός θέματος. Ένας τύπος

γενίκευσης είναι όταν μια αναπαράσταση, ενώ έχει διδαχτεί για ένα σκοπό ή για έναν τομέα, επεκτείνεται και σε άλλους. Και ένας δεύτερος τύπος γενίκευσης είναι όταν η περιοχή μιας γνώσης επεκτείνεται μέσω της έκφρασής της με πολλαπλές αναπαραστάσεις. Αυτός ο τρόπος θεωρείται ως γενίκευση αναπαράστασης, εάν ο μαθητής εκμεταλλευτεί την κατανόηση που του παρέχει μια αναπαράσταση για ένα θέμα, προκειμένου να μπορέσει να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο μια άλλη αναπαράσταση ενσωματώνει την ίδια γνώση. Δηλαδή, ο μαθητής κατανοεί τον τρόπο που μια αναπαράσταση εκφράζει μια έννοια και έτσι, μπορεί να κατανοήσει τον τρόπο που μια άλλη αναπαράσταση ενσωματώνει την ίδια γνώση. Η διδασκαλία των σχέσεων μεταξύ των αναπαραστάσεων μπορεί να επιτευχθεί όταν δύο ή περισσότερες αναπαραστάσεις παρουσιάζονται ταυτόχρονα, ενώ η μάθηση της μετάφρασης μεταξύ των δύο αναπαραστάσεων είναι μια δι-κατευθυντήρια διαδικασία. Η διδασκαλία του τρόπου με τον οποίο οι αναπαραστάσεις συνδέονται μεταξύ τους ενισχύει την αφαίρεση.

3.3.2 Αντίλογος για τη χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων

Ωστόσο, ενάντια στη χρήση των πολλαπλών αναπαραστάσεων έχουν διατυπωθεί ορισμένες ενστάσεις. Οι Kalyuga κ.α.[97] υποστήριξαν ότι οι πολλαπλές πηγές πληροφοριών που διαβιβάζουν την ίδια ιδέα με διαφορετικά μορφοσχήματα μπορεί να οδηγήσουν σε σύγχυση. Βρήκαν ότι όταν προστίθεται κείμενο στις παρουσιάσεις εικόνων, οι επιπρόσθετες λεκτικές πληροφορίες προκαλούσαν δυσκολίες στη μνήμη συγκριτικά με περιπτώσεις όπου οι εικόνες παρουσιάζονταν μόνες τους. Οι Kalyuga κ.α. υποστηρίζουν ότι οι παρουσιάσεις με πολλαπλά μέσα διευκολύνουν στο βαθμό που τα μέσα ευθυγραμμίζονται ή συμπληρώνουν το ένα το άλλο. Δηλαδή, η ποιότητα της παρουσίασης είναι πιο σημαντική απ' ότι η ποσότητα της παρουσίασης. Συνεπώς, θα πρέπει να δίνεται αξιοσημείωτη προσοχή στη συλλογή και στην ανάπτυξη των παρουσιάσεων κατά τη μάθηση με πολυμέσα. Φυσικά, ακόμα και απλά μορφοσχήματα μπορούν να είναι αναποτελεσματικά στην παρουσίαση μιας έννοιας ή μιας ιδέας, εάν δεν είναι σχεδιασμένα για ένα συγκεκριμένο μαθησιακό σκοπό[98]. Άρα, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να έχουν

στρατηγική κατά το σχεδιασμό των διδακτικών τους παρουσιάσεων. Ο προσεκτικός σχεδιασμός είναι πιο πιθανό να οδηγήσει στην κατασκευή νοητικών μοντέλων απ' ότι η απλή εφαρμογή μιας παρουσίασης με πολυμέσα. Αυτό σημαίνει ότι οι παρουσιάσεις με πολυμέσα είναι πιο πιθανό να είναι αποτελεσματικές μέσα σε ένα οριοθετημένο πλαίσιο συνθηκών, τέτοιο ώστε η επιθυμητή εσωτερική αναπαράσταση να προκύπτει από το σχεδιασμό της εξωτερικής αναπαράστασης[98].

3.4 Ικανότητες που σχετίζονται με τις αναπαραστάσεις

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί δύο όροι για να περιγράψουν την ικανότητα του ατόμου να κατανοεί και να χρησιμοποιεί τις χημικές αναπαραστάσεις οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

3.4.1 Αναπαραστατική ικανότητα

Οι Kozma & Russell[30] εισήγαγαν τον όρο «αναπαραστατική ικανότητα» (representational competence) για να περιγράψουν ένα σύνολο ικανοτήτων και πρακτικών που επιτρέπουν στο άτομο να χρησιμοποιεί σκεπτικά μία ποικιλία αναπαραστάσεων, να σκέφτεται, να επικοινωνεί και να ενεργεί με βάση τις υποκείμενες, μη αντιληπτικές (aperceptual) φυσικές οντότητες και διαδικασίες των χημικών φαινομένων. Η ικανότητα χρησιμοποίησης των αναπαραστάσεων για την επίτευξη της κατανόησης συνίσταται στην ικανότητα εξαγωγής νοήματος και συμπερασμάτων από τις αναπαραστάσεις. Τα άτομα με μικρή αναπαραστατική ικανότητα σε έναν τομέα βασίζονται κυρίως στα επιφανειακά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων ή στη μηχανική εφαρμογή των συμβολικών κανόνων για να βγάλουν νόημα, ενώ τα άτομα με μεγαλύτερη αναπαραστατική ικανότητα μπορούν να χρησιμοποιούν συνδυαστικά μία ποικιλία αναπαραστάσεων για να εξηγούν φαινόμενα, να στηρίζουν ισχυρισμούς, να επιλύουν προβλήματα ή να κάνουν προβλέψεις.

Οι Kozma & Russell[30] πρότειναν την ενσωμάτωση ενός επιμέρους προγράμματος στα αναλυτικά προγράμματα σπουδών της χημείας, το οποίο

θα έχει σκοπό την καλλιέργεια της αναπαραστατικής ικανότητας στους μαθητές μέσα από την ανάπτυξη των παρακάτω δεξιοτήτων (skills):

- Ανάπτυξη της ικανότητας (ability) να χρησιμοποιεί ο μαθητής αναπαραστάσεις για να περιγράφει τα παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα, βασισμένος στις υποκείμενες μοριακές ή ιοντικές οντότητες και διαδικασίες.
- Ανάπτυξη της ικανότητας να παράγει ή να επιλέγει ο μαθητής μία αναπαράσταση και να εξηγεί γιατί είναι κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο σκοπό.
- Ανάπτυξη της ικανότητας να χρησιμοποιεί ο μαθητής λέξεις για να αναγνωρίζει και να αναλύει τα χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης αναπαράστασης (όπως μία κορυφή σε ένα διάγραμμα) και τα πρότυπα χαρακτηριστικά (όπως η συμπεριφορά των μορίων σε μία κινούμενη εικόνα).
- Ανάπτυξη της ικανότητας να εξηγεί ο μαθητής πώς διαφορετικές αναπαραστάσεις μπορούν να «πουν» το ίδιο πράγμα με διαφορετικούς τρόπους και πώς μία αναπαράσταση μπορεί να «πει» κάτι διαφορετικό ή κάτι που δεν μπορεί να «πει» μία άλλη.
- Ανάπτυξη της ικανότητας να μετατρέπει ο μαθητής μία αναπαράσταση από τη μία μορφή στην άλλη, να κάνει συνδέσεις ανάμεσα σε διαφορετικές αναπαραστάσεις, να αντιλαμβάνεται την αντιστοιχία των επιφανειακών χαρακτηριστικών διαφορετικών αναπαραστάσεων και να εξηγεί τις μεταξύ τους σχέσεις.
- Ανάπτυξη της ικανότητας να παίρνει ο μαθητής επιστημολογική θέση ότι οι αναπαραστάσεις αντιστοιχούν σε παρατηρήσιμα φαινόμενα, αλλά είναι διαφορετικές από αυτά.
- Ανάπτυξη της ικανότητας να χρησιμοποιεί ο μαθητής τις αναπαραστάσεις και τα χαρακτηριστικά τους σε κοινωνικές περιστάσεις ως απόδειξη για να στηρίξει ισχυρισμούς, να συνάγει συμπεράσματα και να κάνει προβλέψεις για παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα.

Οι Kozma & Russell[30] πρότειναν μία εννοιολογική δομή, στην οποία οι παραπάνω δεξιότητες οργανώνονται σε χαρακτηριστικά πρότυπα, ανάλογα με τη χρήση των αναπαραστάσεων, τα οποία αντιστοιχούν σε πέντε επίπεδα. Η δομή αυτή αντιστοιχεί σε μία αναπτυξιακή τροχιά που ξεκινά από τη χρήση των επιφανειακών χαρακτηριστικών για τον ορισμό φαινομένων (χαρακτηριστικό των αρχαρίων σε έναν τομέα) και φτάνει στη ρητορική χρήση των αναπαραστάσεων (χαρακτηριστικό των ειδικών). Τα πέντε αυτά επίπεδα είναι τα εξής:

Επίπεδο 1. Η αναπαράσταση ως απεικόνιση: Όταν ζητείται από το άτομο να αναπαραστήσει ένα φαινόμενο, αυτό παράγει αναπαραστάσεις του φαινομένου βασισμένο μόνο στα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά. Δηλαδή, η αναπαράσταση είναι μία ισομορφική, εικονική απεικόνιση του φαινομένου κάποια χρονική στιγμή.

Επίπεδο 2. Πρώιμες συμβολικές ικανότητες: Όταν ζητείται από το άτομο να αναπαραστήσει ένα φαινόμενο, αυτό παράγει αναπαραστάσεις του φαινομένου βασισμένο στα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά, αλλά επίσης συμπεριλαμβάνει μερικά συμβολικά στοιχεία για να διευκολύνει τους περιορισμούς του μέσου (π.χ. η χρήση συμβολικών στοιχείων όπως είναι τα βέλη για να αναπαραστήσει δυναμικές έννοιες, όπως ο χρόνος ή η κίνηση ή μία παρατηρήσιμη αιτία, σε ένα στατικό μέσο όπως είναι το χαρτί). Το άτομο είναι εξοικειωμένο με ένα τυπικό αναπαραστατικό σύστημα, αλλά η χρήση του είναι απλώς μία πιστή ανάγνωση των επιφανειακών χαρακτηριστικών της αναπαράστασης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η σύνταξη και η σημασιολογία.

Επίπεδο 3. Συντακτική χρήση των τυπικών αναπαραστάσεων: Όταν ζητείται από το άτομο να αναπαραστήσει ένα φαινόμενο, αυτό παράγει αναπαραστάσεις του φαινομένου βασισμένο τόσο στα παρατηρήσιμα όσο και στα μη-παρατηρήσιμα φυσικά χαρακτηριστικά των υποκείμενων οντοτήτων και διαδικασιών (όπως είναι μια μη-παρατηρήσιμη αιτία), ακόμα κι αν το αναπαραστατικό σύστημα είναι προϊόν επινόησης και ιδιοσυγκρασιακό και οι απεικονιζόμενες οντότητες και διαδικασίες δεν είναι επιστημονικά ακριβείς. Το άτομο είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει σωστά τυπικές αναπαραστάσεις, αλλά εστιάζει περισσότερο στη σύνταξη της χρήσης, παρά στο νόημα της

αναπαράστασης. Παρομοίως, το άτομο κάνει συνδέσεις ανάμεσα σε δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις του ίδιου φαινομένου βασισμένο μόνο σε συντακτικούς κανόνες ή σε κοινά επιφανειακά χαρακτηριστικά, παρά στο κοινό υποκείμενο νόημα των διαφορετικών αναπαραστάσεων και των χαρακτηριστικών τους.

Επίπεδο 4. Εννοιολογική χρήση των τυπικών αναπαραστάσεων: Όταν ζητείται από το άτομο να αναπαραστήσει ένα φαινόμενο, αυτό χρησιμοποιεί σωστά ένα τυπικό συμβολικό σύστημα για να αναπαραστήσει τις υποκείμενες, μη-παρατηρήσιμες οντότητες και διαδικασίες. Το άτομο είναι σε θέση να χρησιμοποιεί ένα τυπικό αναπαραστατικό σύστημα βασισμένο τόσο σε συντακτικούς κανόνες όσο και στο νόημα που είναι σχετικό με το φυσικό φαινόμενο που αναπαριστά. Το άτομο είναι σε θέση να κάνει συνδέσεις ανάμεσα σε δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις ή να μετασχηματίσει μια αναπαράσταση σε άλλη βασισμένο στο κοινό νόημα των διαφορετικών αναπαραστάσεων και των χαρακτηριστικών τους. Το άτομο μπορεί να εξάγει ένα κοινό νόημα για διάφορα είδη επιφανειακά διαφορετικών αναπαραστάσεων και να μετασχηματίζει οποιαδήποτε αναπαράσταση σε μία ισοδύναμη διαφορετικού τύπου. Το άτομο αυθόρμητα χρησιμοποιεί τις αναπαραστάσεις για να εξηγήσει ένα φαινόμενο, να λύσει ένα πρόβλημα ή να κάνει μία πρόβλεψη.

Επίπεδο 5. Σκεπτική, ρητορική χρήση των αναπαραστάσεων: Όταν ζητείται από το άτομο να εξηγήσει ένα φαινόμενο, αυτό χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες αναπαραστάσεις για να εξηγήσει τη σχέση ανάμεσα στις φυσικές ιδιότητες και στις υποκείμενες οντότητες και διαδικασίες. Το άτομο μπορεί να χρησιμοποιεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας αναπαράστασης για να αιτιολογήσει ισχυρισμούς εντός ενός κοινωνικού, ρητορικού πλαισίου. Μπορεί να επιλέξει ή να κατασκευάσει μια αναπαράσταση πιο κατάλληλη για μία συγκεκριμένη περίσταση και να εξηγήσει γιατί η αναπαράσταση είναι πιο σημαντική από μία άλλη. Το άτομο είναι σε θέση να πάρει την επιστημολογική θέση ότι δεν μπορούμε να έχουμε άμεση εμπειρία για κάποια φαινόμενα και αυτά μπορούν να γίνουν κατανοητά μόνο μέσω των αναπαραστάσεών τους. Συνεπώς, η κατανόησή τους εξαρτάται από την ερμηνεία και η αξιοπιστία της

ερμηνείας αυξάνεται με το βαθμό που οι αναπαραστάσεις μπορούν να δημιουργηθούν ώστε να αντιστοιχούν η μία στην άλλη. Το άτομο αναγνωρίζει ότι τα επιχειρήματα αυτά είναι ανταγωνιστικά σε άλλα εντός της κοινότητας στην οποία ανήκει.

Στην παραπάνω δομή της αναπαραστατικής ικανότητας εμπεριέχεται ένας αριθμός υποθέσεων. Πρώτον, γίνεται η υπόθεση ότι η απόκτηση αυτών των δεξιοτήτων ακολουθεί μία αναπτυξιακή τροχιά. Ωστόσο, η τροχιά αυτή δεν θεωρείται σταδιακή όπως η εξέλιξη της ανάπτυξης του ατόμου κατά Piaget. Αποδίδεται μάλλον στην άποψη κατά Vygotski, ότι η ανάπτυξη εξαρτάται τόσο από την ανάπτυξη του ατόμου όσο και από τη φυσική, συμβολική και κοινωνική κατάσταση. Ο Vygotski περιγράφει μια «ζώνη εγγύς ανάπτυξης» στην οποία η προσωπική ανάπτυξη του ατόμου συμπληρώνεται από αλληλεπιδράσεις με υλικές και κοινωνικές πηγές του περιβάλλοντος. Επίσης, δεν γίνεται καμία υπόθεση ότι η ανάπτυξη της αναπαραστατικής ικανότητας είναι αυτόματη ή ομοιόμορφη. Είναι πιθανό ένα άτομο να μπορεί να επιδείξει συμπεριφορές που σχετίζονται με ένα υψηλότερο επίπεδο σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο και άλλες που κωδικοποιούνται σε χαμηλότερο επίπεδο σε ένα άλλο πλαίσιο. Ή ένα άτομο μπορεί να επιδεικνύει μία ικανότητα υψηλού επιπέδου σε μία περίσταση και την ίδια ικανότητα σε χαμηλότερο επίπεδο σε κάποια άλλη χρονική στιγμή. Επίσης, διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης μπορούν να εμφανίζονται σε διαφορετικά τυπικά συμβολικά συστήματα ή αναπαραστάσεις. Δηλαδή, ένα άτομο μπορεί να είναι πιο ανταγωνιστικό και να δείχνει υψηλότερο επίπεδο ικανοτήτων σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (π.χ. στις χημικές εξισώσεις) απ' ότι σ' ένα άλλο (π.χ. στις γραφικές παραστάσεις). Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου και παρέχοντας κατάλληλα σύνολα φυσικών, συμβολικών και κοινωνικών καταστάσεων, ένας μαθητής θα επιδεικνύει όλο και περισσότερο ανώτερες αναπαραστατικές ικανότητες, θα τις εσωτερικοποιεί και θα τις ενσωματώνει σε μία μόνιμη πρακτική.

Να σημειώσουμε τέλος, ότι οι Kozma και Russell[6] αποδίδουν πολύ σημαντικό ρόλο στη λεκτική ικανότητα και θεωρούν ότι έχει σημαντική θέση στο αναλυτικό πρόγραμμα της χημείας. Όσο η χημεία θα διδάσκεται ως ποιοτική

επιστήμη τα γλωσσικά προσόντα θα είναι αυτά που θα βοηθούν περισσότερο τους μαθητές να ενοποιήσουν τις διαφορετικές μορφές αναπαραστάσεων σε μια συνεκτική κατανόηση των χημικών εννοιών και αρχών. Επομένως, η ομιλία και το γράψιμο στη χημεία πρέπει να έχουν ειδική θέση στο αναλυτικό πρόγραμμα παράλληλα με τις χημικές εξισώσεις, τα γραφήματα και τις εικόνες.

3.4.2 Μεταοπτικοποίηση

Ο Gilbert[1] εισήγαγε την έννοια της «μεταοπτικοποίησης» (metavisualization) για να εκφράσει την ικανότητα του ατόμου να αποκτά, να παρακολουθεί, να ενοποιεί και να επεκτείνει τη μάθηση από τις αναπαραστάσεις. Ο Gilbert συσχέτισε τη διεργασία της οπτικοποίησης (η οποία στη χημεία γίνεται μέσω των χημικών αναπαραστάσεων) με τη μεταγνώση (metacognition) και πρότεινε ότι η απόκτηση και η ευχέρεια στην οπτικοποίηση περιέχει στοιχεία μεταγνώσης. Σύμφωνα με τους επίσημους ορισμούς η μεταγνώση ορίζεται ως εξής:

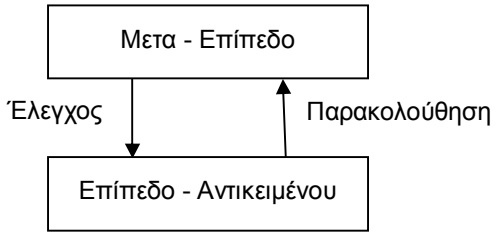
> *«Η μεταγνώση θεωρείται ένα σύνολο αλληλένδετων κατασκευών που αναφέρονται στη γνώση για τη γνώση.»*
>
> *«Ένας εκπαιδευόμενος διαθέτει μεταγνώση όταν κατανοεί τις εργασίες ελέγχου, ενοποίησης και επέκτασης της ίδιας του της μάθησης.»*

Με δεδομένο ότι η τεχνολογία έδωσε τη δυνατότητα να παραχθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός εικόνων, τις οποίες ένα άτομο αφενός είναι δύσκολο να μάθει ξεχωριστά και αφετέρου είναι δύσκολο να ξέρει ποιες είναι σημαντικές για το μέλλον, συνεπάγεται ότι η μεταγνώση έχει εφαρμογή και στον τομέα της οπτικοποίησης. Για να εκφράσει αυτή την εφαρμογή ο Gilbert εισήγαμε την έννοια της μεταοπτικοποίησης βασιζόμενος σε τρία στοιχεία: α) στη γενική «χωρική νοημοσύνη» (spatial intelligence) που εφαρμόζεται σε όλους τους τομείς, β) σε ένα γενικό μοντέλο μνήμης που μπορεί να εφαρμοστεί στην οπτικοποίηση και αναπαριστά την ανάπτυξη της μεταγνωστικής ικανότητας και γ) στον κεντρικό ρόλο που φαίνεται να έχει η οπτικοποίηση στη διαδικασία της σκέψης. Τα στοιχεία αυτά αναλύονται παρακάτω.

Γενική χωρική νοημοσύνη: Όπως αναφέρει ο Gilbert[1], ο Gardner υποστήριξε ότι το μυαλό αποτελείται από μία σειρά από διακριτές «νοημοσύνες» (intelligences). Οι δείκτες για την ύπαρξη μίας νοημοσύνης είναι οι εξής: α) Η κάθε νοημοσύνη εδρεύει σε μία νοητική λειτουργία (mental faculty) που βρίσκεται σε συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου και μπορεί να υποστεί βλάβες ή να καταστραφεί. β) Έχει ανιχνεύσιμα εξελικτικά προηγούμενα αίτια (antecedents) και μπορούμε να συμπεράνουμε πώς προέκυψε η νοημοσύνη, ποιες είναι οι συνέπειες αυτής της διαδικασίας και οι επιπτώσεις της με την πάροδο του χρόνου. γ) Ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών χρησιμοποιείται κατά την είσοδο και κωδικοποίηση του περιεχομένου της μάθησης και μία κατηγορία ερεθισμάτων αντιμετωπίζεται με αναγνωρίσιμο και διακριτό τρόπο. δ) Στους ενήλικες, η νοημοσύνη έχει μία αναγνωρίσιμη αναπτυξιακή τροχιά και αναγνωρίζοντας την τρέχουσα επίδοση μπορούμε να συμπεράνουμε αν το άτομο βρίσκεται στην ανάπτυξη μιας νοημοσύνης. ε) Με ειδικά τεστ μπορεί να αναγνωριστεί πώς και σε ποιο βαθμό λειτουργεί η νοημοσύνη.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω κριτήρια ο Gardner κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μία συγκεκριμένη «χωρική νοημοσύνη» στην οποία παίζουν κεντρικό ρόλο οι ικανότητες που καθιστούν με ακρίβεια αντιληπτό τον οπτικό κόσμο και μετασχηματίζουν ή τροποποιούν τις οπτικές εμπειρίες του ατόμου ακόμα και εν τη απουσία του φυσικού ερεθίσματος. Η επικρατούσα άποψη μεταξύ των ψυχολόγων είναι ότι η ικανότητα οπτικοποίησης προέρχεται από το δεξί ημισφαίριο του εγκεφάλου, ωστόσο κάποιοι πιστεύουν ότι σε μερικές λειτουργίες συμμετέχει και το αριστερό.

Γενικό μοντέλο μνήμης: Το επόμενο στοιχείο στο οποίο βάσισε ο Gilbert[1] τη δημιουργία της έννοιας της μεταοπτικοποίησης είναι το μοντέλο των Nelson & Narens για τη λειτουργία της μνήμης και άρα την επίτευξη της γνώσης, το οποίο απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Η οπτική αντίληψη παρακολουθεί ένα φαινόμενο στο επίπεδο αντικειμένου και αντλεί πληροφορίες που οδηγούν στο σχηματισμό ενός μοντέλου για το υπό εξέταση αντικείμενο. Στη συνέχεια, στον εγκέφαλο, στο μετα-επίπεδο ασκείται έλεγχος που οδηγεί είτε στην αμετάβλητη διατήρηση είτε στην αλλαγή του μοντέλου. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος θεωρείται ότι γίνονται ταυτόχρονα.

Το παραπάνω μοντέλο για τη λειτουργία της μνήμης –εδώ μας αφορά η διατήρηση των εικόνων– όπως περιγράφτηκε αρχικά από τους Nelson & Narens είχε τρία στάδια και στη συνέχεια ο Gilbert πρότεινε ένα τέταρτο. Τα στάδια αυτά είναι: η απόκτηση, η διατήρηση, η ανάκτηση και η τροποποίηση μιας εικόνας. Γενικά, κατά την ανάπτυξη της μεταοπτικοποίησης το άτομο γίνεται σταδιακά πιο συνειδητοποιημένο στη διεκπεραίωση των παραπάνω σταδίων. Συγκεκριμένα, στο στάδιο της απόκτησης, το άτομο είναι σε θέση να δηλώνει με μεγαλύτερη ευκολία τι έμαθε, να προβλέπει τη δυσκολία και την πιθανή επιτυχία σε μελλοντική μάθηση. Δηλαδή, σταδιακά γίνεται πιο εύκολο να δηλώσει ποιες εικόνες του είναι γνωστές και πόσο δύσκολη είναι η απόκτηση κι άλλων εξειδικευμένων εικόνων. Στο στάδιο της διατήρησης το άτομο γίνεται σταδιακά πιο συνειδητοποιημένο στη νοητική χρησιμοποίηση της αποκτημένης μνήμης και, επίσης, γίνεται πιο εύκολη η διατήρηση συγκεκριμένων εικόνων στη μνήμη. Στο στάδιο της ανάκτησης το άτομο γίνεται σταδιακά πιο πεπεισμένο τόσο ότι αυτά που έχει μάθει θα τα θυμάται στο μέλλον, όσο και ότι η γνώση διατηρείται ακριβής. Σταδιακά γίνεται πιο εύκολο να ανακτήσει ακριβείς εικόνες. Τέλος, στο στάδιο της τροποποίησης το άτομο γίνεται σταδιακά πιο ικανό να τροποποιεί συνειδητά ανακτημένες εικόνες για ένα σκοπό, ώστε να ικανοποιεί ειδικές απαιτήσεις και, κατά συνέπεια, να παράγει οπτικές εικόνες.

Οπτικοποίηση και σκέψη: Το 3ο στοιχείο στο οποίο βασίστηκε ο Gilbert[1] είναι οι τέσσερις τρόποι με τους οποίους συσχετίζεται η οπτικοποίηση και η σκέψη σύμφωνα με τον Peterson:

1) Οι συλλογισμοί. Μία μορφή συλλογισμών εμπεριέχει την παραγωγή νέων εικόνων ανασυνδυάζοντας στοιχεία από εικόνες που ήδη υπάρχουν. Αυτό αποτελεί και τη βάση της οπτικής αναλογίας. Για παράδειγμα, η οπτική αντίληψη των κυμάτων στο νερό οδήγησε ιστορικά στη δημιουργία του μοντέλου για τα κύματα του φωτός και του μοντέλου για τα κύματα του ήχου.

2) Η μάθηση μιας δεξιότητας. Κατά τη μάθηση μιας δεξιότητας το άτομο αρχικά παράγει μια οπτική αντίληψη που καθορίζει τη φυσική κίνηση που εμπεριέχεται στη δεξιότητα, το οποίο επιτυγχάνεται με την παρακολούθηση ενός ειδικού που επιδεικνύει τη δεξιότητα. Οι εκπαιδευόμενοι χρησιμοποιούν το παραπάνω μοντέλο για να καθοδηγήσουν την προσωπική ανάπτυξη της φυσικής κίνησης μέχρι αυτή να τελειοποιηθεί (ιδανική περίπτωση). Για παράδειγμα, αυτό γίνεται στη μάθηση της χρησιμοποίησης της πιπέτας.

3) Η κατανόηση λεκτικών περιγραφών. Η οπτική μνήμη είναι διαφορετική από τη γλωσσική μνήμη. Ωστόσο, οπτικοποιήσεις μπορούν να παραχθούν από μια σειρά προτασιακών δηλώσεων, μία διαδικασία η οποία θεωρείται από πολλούς ότι καθιστά εύκολη την κατανόηση των σχέσεων που πρόκειται να αποκτηθούν. Για παράδειγμα, η δομή μιας κρυσταλλικής ουσίας μπορεί να κατανοηθεί με την παραγωγή μιας νοητικής εικόνας μετά από ανάγνωση μίας περιγραφής της.

4) Η δημιουργικότητα. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω επανερμηνείας του νοήματος μιας υπάρχουσας εικόνας είτε μέσω αλλαγής του πλαισίου αναφοράς μιας εικόνας. Η ιστορία των φυσικών επιστημών είναι γεμάτη με τέτοια παραδείγματα, όπως στην περίπτωση του Faraday, του Maxwell, του Tesla, του Feynman, του Kekule κ.α.

Εάν η οπτικοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στη μάθηση και ιδιαίτερα στις φυσικές επιστήμες τότε η ελλιπής ή ανεπιτυχής ανάπτυξη της ικανότητας μεταοπτικοποίησης θα έχει σοβαρές επιπτώσεις στη μάθηση. Ο Gilbert[3]

πρότεινε τα παρακάτω κριτήρια με βάση τα οποία να καλλιεργείται η μεταοπτικοποίηση και να ελέγχεται σε ποιο βαθμό αυτό έχει επιτευχθεί:

1. 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.
2. Το άτομο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να μεταφράζει μία αναπαράσταση από τη μία μορφή στην άλλη.
3. Το άτομο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να κατασκευάζει μία αναπαράσταση σε οποιοδήποτε είδος διαστάσεων για ένα δεδομένο σκοπό.
4. 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.

3.5 Η χρήση των χημικών αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια

Η αφηρημένη φύση της χημείας και η ανάγκη να κατανοήσουν οι μαθητές ουσιαστικά τα χημικά φαινόμενα καθιστούν αναγκαία τη χρήση ενός μεγάλου εύρους χημικών αναπαραστάσεων κατά τη διδασκαλία και τη μάθηση της χημείας. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικίλα διδακτικά εργαλεία και μέσα, όπως είναι για παράδειγμα τα σχολικά εγχειρίδια, τα εκπαιδευτικά λογισμικά, οι διαφάνειες, η προβολή βίντεο, τα κινούμενα σχέδια, τα μοριακά μοντέλα κ.α. Πράγματι, στα εγχειρίδια χημείας της τελευταίας δεκαετίας παρατηρείται αυξανόμενη χρησιμοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων, ενώ τα περισσότερα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα περιέχουν μεγάλο αριθμό χημικών αναπαραστάσεων[35]. Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στα σχολικά εγχειρίδια, διότι αυτά αποτελούν το βασικό εργαλείο μάθησης, το οποίο είναι διαθέσιμο σε όλους τους μαθητές και η χρήση του δεν περιορίζεται από

κανέναν παράγοντα, όπως είναι για παράδειγμα η υλικοτεχνική υποδομή του σχολείου, η κατάρτιση του εκπαιδευτικού κ.α. Τα σχολικά βιβλία είναι τα εργαλεία στα οποία στηρίζεται η μάθηση, είναι αυτά που χρησιμοποιούν οι μαθητές όταν μελετούν, είναι αυτά που βρίσκονται στη βιβλιοθήκη τους και στα οποία έχουν άμεση πρόσβαση ακόμη και όταν αποφοιτήσουν από το σχολείο.

Ωστόσο, η απλή ενσωμάτωση των αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια δεν εξασφαλίζει ότι συμβάλλουν στη μάθηση. Όπως ισχύει για όλες τις οπτικοποιήσεις προκειμένου αυτές να είναι αποτελεσματικές θα πρέπει να βασίζονται σε δύο σχεδιαστικές γνωστικές αρχές[99]: α) Στην Αρχή της Συμφωνίας (Congruence Principle), σύμφωνα με την οποία η δομή και το περιεχόμενο μίας οπτικοποίησης πρέπει να είναι σύμφωνα με τις επιθυμητές νοητικές δομές και το επιθυμητό νοητικό περιεχόμενο. β) Στην Αρχή της Αντίληψης (Apprehension Principle), σύμφωνα με την οποία η δομή και το περιεχόμενο μίας οπτικοποίησης πρέπει να είναι εύκολα και άμεσα αντιληπτά και κατανοητά. Όπως αναφέρει η Tversky[99], οι οπτικοποιήσεις είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τη διδασκαλία, την κατανόηση και τη δημιουργία επιστημονικών ιδεών, όπου η αποτελεσματικότητά τους πηγάζει από τις γνωστικά εξαναγκασμένες αντιστοιχίσεις των πραγματικών και εννοιολογικών στοιχείων και χωρικών σχέσεων με τα αντίστοιχα στοιχεία και χωρικές σχέσεις στις οπτικοποιήσεις. Δηλαδή, εκμεταλλεύονται την εκτεταμένη εμπειρία και ευκολία των ανθρώπων να κάνουν χωρικές συγκρίσεις και να συνάγουν συμπεράσματα. Γι΄ αυτό οι αποτελεσματικές οπτικοποιήσεις λαμβάνουν υπόψη τις ανθρώπινες αντιληπτικές και γνωστικές δυνατότητες. Αυτό σημαίνει ότι συγκεντρώνουν τις σημαντικές πληροφορίες και απομακρύνουν τις άσχετες και είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε οι σημαντικές πληροφορίες να μπορούν να γίνουν αντιληπτές και κατανοητές εύκολα και άμεσα.

Οι χημικές αναπαραστάσεις που περιέχονται στα σχολικά εγχειρίδια προκειμένου να βοηθούν στην κατανόηση της χημείας θα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Καταρχήν, ο μαθητής θα πρέπει να τους δίνει την απαραίτητη προσοχή. Δηλαδή θα πρέπει να είναι σαφές ότι αποτελούν ζωτικό τμήμα του βιβλίου και δεν παίζουν διακοσμητικό και δευτερεύοντα ρόλο.
- Ο μαθητής θα πρέπει να καταλαβαίνει με σαφήνεια το περιεχόμενο, το νόημα και το μήνυμα που μεταφέρουν.
- Ο μαθητής θα πρέπει να καταλαβαίνει πώς συσχετίζεται η κάθε αναπαράσταση με την αντίστοιχη χημική έννοια ή αρχή ή φαινόμενο.

3.5.1 Κριτήρια για την αξιολόγηση των χημικών αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια

Προκειμένου να μπορούμε να εξετάζουμε σε ποιο βαθμό οι χημικές αναπαραστάσεις που περιέχονται στα σχολικά εγχειρίδια είναι κατάλληλες ώστε να βοηθούν τη μάθηση στη χημεία διαμορφώσαμε 5 κριτήρια, σε προηγούμενη εργασία[100]. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

1ο Κριτήριο: Το είδος της αναπαράστασης. Μια αναπαράσταση μπορεί να είναι μακροσκοπική, μικροσκοπική ή συμβολική σύμφωνα με το επίπεδο της χημείας που απεικονίζει. Επιπλέον, μπορεί να είναι πολλαπλή εάν απεικονίζει ένα φαινόμενο ταυτόχρονα και στα τρία επίπεδα της χημείας ή υβριδική εάν συνδυάζονται στοιχεία από δύο ή τρία επίπεδα της χημείας προκειμένου να κατασκευαστεί η αναπαράσταση.

2ο Κριτήριο: Η ερμηνεία των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Ανάλογα με το βαθμό στον οποίο επισημαίνεται η ερμηνεία των επιφανειακών χαρακτηριστικών μια αναπαράσταση χαρακτηρίζεται σαφής, μερικώς σαφή ή ασαφής. Το κριτήριο αυτό εξετάζει το βαθμό στον οποίο καθίσταται σαφές το μήνυμα της αναπαράστασης.

3ο Κριτήριο: Η συνάφεια με το κείμενο. Ανάλογα με το βαθμό στον οποίο μια αναπαράσταση είναι συναφής και σχετική με το αντίστοιχο κείμενο και ανάλογα με το αν υπάρχει απ' ευθείας παραπομπή από το κείμενο στην αναπαράσταση χαρακτηρίζεται ως απόλυτα συναφής και συνδεδεμένη, απόλυτα συναφής και ασύνδετη, μερικώς συναφής και συνδεδεμένη, μερικώς

συναφής και ασύνδετη ή μη συναφής. Οι αναπαραστάσεις θεωρούνται απόλυτα συναφείς όταν το περιεχόμενό τους αναφέρεται ακριβώς στο κείμενο, μερικώς συναφείς όταν απεικονίζουν ένα σχετικό θέμα με το κείμενο αλλά όχι το ακριβές και μη συναφείς όταν το περιεχόμενό τους είναι άσχετο με το κείμενο. Επιπλέον, οι αναπαραστάσεις χαρακτηρίζονται συνδεδεμένες ή ασύνδετες ανάλογα με το αν το κείμενο παραπέμπει ή όχι απ' ευθείας τον αναγνώστη σε αυτές, χρησιμοποιώντας εκφράσεις του τύπου: «όπως φαίνεται στην εικόνα κτλ.». Οι αναπαραστάσεις πρέπει να συνδέονται με τις αντίστοιχες έννοιες, αρχές ή φαινόμενα που διδάσκονται, διότι όπως έχουν δείξει οι έρευνες οι μαθητές δυσκολεύονται να κάνουν τις συνδέσεις αυτές μόνοι τους, διότι στις αναπαραστάσεις βλέπουν μόνο γράμματα και σύμβολα και όχι τις υποκείμενες χημικές έννοιες.

4^{ο} Κριτήριο: Ύπαρξη και ιδιότητες επικεφαλίδας ή υπότιτλου. Το κριτήριο αυτό εξετάζει εάν μια αναπαράσταση έχει επικεφαλίδα ή υπότιτλο και αν η επικεφαλίδα ή ο υπότιτλος είναι κατάλληλη/ος. Μια επικεφαλίδα θεωρείται κατάλληλη αν είναι σαφής, σύντομη και περιεκτική και αν προσδίδει αυτοτέλεια στην αναπαράσταση. Οι επικεφαλίδες είναι σημαντικές διότι βοηθούν να καθίσταται σαφές το νόημα και το μήνυμα που μεταφέρει η αναπαράσταση και επίσης, επισημαίνουν τα κρίσιμα σημεία αυτής. Ομοίως και οι υπότιτλοι.

5^{ο} Κριτήριο: Βαθμός επισήμανσης της αντιστοιχίας των επιμέρους αναπαραστάσεων σε μια πολλαπλή αναπαράσταση. Ανάλογα με το βαθμό στον οποίο επισημαίνεται η αντιστοιχία των επιφανειακών χαρακτηριστικών των επιμέρους αναπαραστάσεων που αναφέρονται σε διαφορετικά επίπεδα της χημείας και οι οποίες συνθέτουν την πολλαπλή, αυτή (η πολλαπλή) χαρακτηρίζεται ως: επαρκώς συνδεδεμένη, ελλιπώς συνδεδεμένη ή ασύνδετη. Οι μαθητές θα πρέπει να διδάσκονται τις αντιστοιχίες μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων αναπαράστασης ώστε να είναι σε θέση να μεταφράζουν από το ένα επίπεδο στο άλλο και να αποκτούν μια βαθιά και εννοιολογική κατανόηση των χημικών φαινομένων.

3.5.2 Εφαρμογή των κριτηρίων

Τα παραπάνω κριτήρια εφαρμόστηκαν[101] σε δύο ελληνικά σχολικά εγχειρίδια: Στο βιβλίο *«Χημεία Β΄ Γυμνασίου», των Γεωργιάδου Τ., Καφετζόπουλου Κ., Προβή Ν., Σπυρέλλη Ν. και Χηνιάδη Δ. (ΟΕΔΒ)*, το οποίο διδασκόταν στη Β΄ Γυμνασίου έως το 2008 και στο βιβλίο *«Χημεία Α΄ Τάξης Ενιαίου Λυκείου», των Λιοδάκη Στ., Γάκη Δ., Θεωδορόπουλου Δ., Θεοδωρόπουλου Π. και Κάλλη Α. (ΟΕΔΒ)*, το οποίο διδάσκεται στην Α΄ Λυκείου έως και σήμερα. Το βιβλίο της Β' Γυμνασίου επιλέχθηκε διότι σε αυτή την τάξη διδάσκονται οι μαθητές για πρώτη φορά τη χημεία ως ξεχωριστή επιστήμη και εισάγονται στις θεμελιώδεις χημικές έννοιες: άτομο, μόριο, ιόν, χημικό στοιχείο, χημική ένωση, μίγμα, διάλυμα, φυσική κατάσταση και χημική αντίδραση. Αντίστοιχα, το βιβλίο της Α΄ Λυκείου επιλέχθηκε διότι σε αυτή την τάξη οι μαθητές επαναλαμβάνουν συνοπτικά τις βασικές έννοιες που διδάχθηκαν στη Β΄ Γυμνασίου και εισάγονται σε μία δεύτερη σειρά βασικών χημικών εννοιών: χημικός δεσμός, mol, σχετική ατομική και μοριακή μάζα, συγκέντρωση διαλύματος, μεταθετικές και οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και στοιχειομετρία. Συνεπώς, οι δύο παραπάνω τάξεις είναι ιδιαίτερης σημασίας στη δόμηση ισχυρών θεμελίων πάνω στα οποία αναμένουμε να αναπτυχθούν οι περαιτέρω χημικές γνώσεις.

Η ανάλυση για τη «Χημεία Β΄ Γυμνασίου» έδειξε ότι το βιβλίο αυτό περιέχει 95 χημικές αναπαραστάσεις, δηλαδή ένα σχετικά μεγάλο αριθμό. Ωστόσο, οι αναπαραστάσεις απεικονίζουν κυρίως το μακροσκοπικό επίπεδο και αντίθετα, δεν δίνεται έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο. Η χημεία δεν παρουσιάζεται συστηματικά και στα τρία επίπεδα με ταυτόχρονες πολλαπλές αναπαραστάσεις, ενώ οι αντιστοιχίες μεταξύ των επιπέδων δεν επισημαίνονται με σαφήνεια. Επίσης, τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των χημικών αναπαραστάσεων δεν ερμηνεύονται με συστηματικό τρόπο. Γενικά, οι αναπαραστάσεις βρίσκονται σε σωστή θέση, έχουν κατάλληλες επικεφαλίδες ή υπότιτλους και συνδέονται με τις αντίστοιχες χημικές έννοιες, αρχές ή φαινόμενα, αλλά χωρίς απ' ευθείας παραπομπές.

Το βιβλίο «Χημεία Α΄ Τάξης Ενιαίου Λυκείου» περιέχει 110 χημικές αναπαραστάσεις. Η ανάλυση έδειξε ότι δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο

συμβολικό επίπεδο, λιγότερη έμφαση στο μακροσκοπικό και ακόμη λιγότερη έμφαση στο μικροσκοπικό. Δεν παρατηρείται η τάση να παρουσιάζεται η χημεία συστηματικά και στα τρία επίπεδα, αλλά συνήθως παρουσιάζεται στα δύο από αυτά και το ένα είναι το συμβολικό. Η ερμηνεία των επιφανειακών χαρακτηριστικών των αναπαραστάσεων δεν δηλώνεται με σαφήνεια και δεν επισημαίνεται ούτε η αντιστοιχία μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων. Οι αναπαραστάσεις βρίσκονται σε σωστή θέση, έχουν επικεφαλίδες ή υπότιτλους, οι οποίοι όμως σε αρκετές περιπτώσεις είναι προβληματικοί, και συνδέονται με τις αντίστοιχες χημικές έννοιες, αρχές ή φαινόμενα, αλλά χωρίς απ' ευθείας παραπομπές.

Από την αξιολόγηση των σχολικών εγχειριδίων της Β΄ Γυμνασίου και της Α΄ Λυκείου προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα παραπάνω εγχειρίδια περιέχουν μεγάλο αριθμό χημικών αναπαραστάσεων, όμως δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο της χημείας και δεν υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται πολλαπλές αναπαραστάσεις και στα τρία επίπεδα της χημείας, με επαρκείς αντιστοιχίες μεταξύ τους. Συνεπώς, είναι αμφίβολο κατά πόσο οι μαθητές είναι σε θέση να συνδέουν τα τρία επίπεδα της χημείας ώστε να αποκτούν τελικά εννοιολογική κατανόηση για τις διδασκόμενες έννοιες, αρχές και φαινόμενα της χημείας.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Η ΕΡΕΥΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Αναγκαιότητα της έρευνας

Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία, τις τελευταίες δεκαετίες η διεθνής επιστημονική κοινότητα στη χημική εκπαίδευση ασχολείται ιδιαίτερα με την οπτικοποίηση της χημείας και τις χημικές αναπαραστάσεις, καθώς είναι καθολικά αποδεκτό ότι η εννοιολογική κατανόηση των χημικών εννοιών περιλαμβάνει την ικανότητα του ατόμου να αντιλαμβάνεται τις έννοιες σε συμβολικό, σε μικροσκοπικό και σε μακροσκοπικό επίπεδο και τη δυνατότητα να μεταβαίνει από το ένα επίπεδο στο άλλο[6,8,9,15,21,24,36,42,47,83,87,92,102-106]. Μέχρι στιγμής οι δυσκολίες και οι παρανοήσεις που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στο μάθημα της χημείας είναι σε σημαντικό βαθμό αναγνωρισμένες και ένα αξιοσημείωτο μέρος των ερευνών στη χημική εκπαίδευση ασχολείται με την ανίχνευση των αιτιών αυτών των παρανοήσεων, ώστε με κατάλληλες διδακτικές προσεγγίσεις να διευκολυνθούν οι μαθητές να τις ξεπεράσουν[6,9,14,19,28,30,37,40,42,43,64,65,77,86-89,91]. Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, μεταξύ των άλλων, έχουν διαπιστώσει τη γενική δυσκολία μαθητών και προπτυχιακών φοιτητών να σκέφτονται παράλληλα και στα τρία επίπεδα της χημείας, ενώ κάποιες από αυτές έχουν μελετήσει συγκεκριμένα γνωστικά αντικείμενα (όπως για παράδειγμα οξεοβασικές αντιδράσεις)[6,9,28,40,54,61,66,74,105,107,108]. Ωστόσο, δεν έχει εξετασθεί συστηματικά και με πληρότητα η ικανότητα μετάβασης των μαθητών και των προπτυχιακών φοιτητών μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας για τις θεμελιώδεις χημικές έννοιες και επιπροσθέτως καμία από τις συναφείς έρευνες δεν έχει πραγματοποιηθεί στο μαθητικό και φοιτητικό δυναμικό της Ελλάδας.

Με δεδομένο ότι η μετάφραση μεταξύ των χημικών αναπαραστάσεων δεν είναι μια απλή διεργασία, αλλά σχετίζεται με το μηχανισμό των αναλογικών συλλογισμών, ο οποίος περιλαμβάνει την αναγνώριση και τη μεταφορά μιας δομικής πληροφορίας από ένα γνωστό σύστημα (πηγή) σε ένα καινούριο και

σχετικά άγνωστο (στόχος), συνεπάγεται ότι η μετάφραση είναι μια διαδικασία επεξεργασίας πληροφοριών, η οποία απαιτεί την κατανόηση των χημικών εννοιών σε τέτοιο βαθμό ώστε ο μαθητής/φοιτητής αφενός να μπορεί να ερμηνεύσει τις πληροφορίες που παρέχει μια αναπαράσταση και αφετέρου να μπορεί να συμπεράνει τις πληροφορίες που απαιτούνται για να κατασκευάσει μια άλλη ισοδύναμη αναπαράσταση. Συνεπώς, η ικανότητα αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο του βαθμού ουσιαστικής κατανόησης των χημικών εννοιών και άρα ένα στοιχείο ανατροφοδότησης της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Επιπροσθέτως, όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ικανότητα μετάφρασης αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell[30] και της «μεταοπικοποίησης» κατά Gilbert[1], οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μάθηση της χημείας. Συνεπώς, η εκτίμηση της ικανότητας μετάφρασης θα παράσχει πληροφορίες για το επίπεδο της «αναπαραστατικής ικανότητας» και της «μεταοπτικοποίησης» των Ελλήνων μαθητών/φοιτητών.

Να σημειώσουμε ότι η διδασκαλία που βασίζεται σε οπτικές αναπαραστάσεις δεν είναι απαλλαγμένη από προβλήματα. Συχνά, είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε ποια είδη αναπαραστάσεων είναι πιο κατάλληλα ή να γνωρίζουμε πώς οι μαθητές τα ερμηνεύουν. Για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων, αλλά και των πιθανών μειονεκτημάτων και των ελλείψεων της διδασκαλίας που βασίζεται σε οπτικές αναπαραστάσεις απαιτείται περισσότερη έρευνα.

Στην ελληνική πραγματικότητα δεν έχει διεξαχθεί έρευνα με αναπαραστάσεις και τα στοιχεία που θα καταγραφούν θα είναι τα πρώτα στοιχεία για τον ελληνικό μαθητικό πληθυσμό σχετικά με την ικανότητα μετάφρασης χημικών αναπαραστάσεων. Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι έρευνες που έχουν μελετήσει μέχρι σήμερα την ικανότητα μαθητών/φοιτητών να συσχετίζουν και να μεταφράζουν αναπαραστάσεις διαφορετικού τύπου αφορούν μεμονωμένες έννοιες και έχουν καλύψει συγκεκριμένους συνδυασμούς επιπέδων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι Kozma & Russell[6] μελέτησαν τις χημικές αναπαραστάσεις σχετικά με την έννοια της χημικής ισορροπίας, οι Rappoport & Ashkenazi[34] μελέτησαν αναπαραστάσεις για τις έννοιες της

θερμοχωρητικότητας, της θερμικής αγωγιμότητας και της συμπεριφοράς των αερίων και οι Ramnarain & Joseph[53] ασχολήθηκαν με αναπαραστάσεις για τις έννοιες της χημικής ισορροπίας και των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Οι Nyachwaya et al.[38] και οι Potgieter et al.[50] σύγκριναν την ικανότητα των μαθητών να λύνουν ασκήσεις με συμβολικές αναπαραστάσεις και την ικανότητα να επιτυγχάνουν μεταφράσεις «συμβο→μικρο» και οι Cook et al.[44] μελέτησαν το συσχετισμό μακροσκοπικών και μικροσκοπικών αναπαραστάσεων για τις έννοιες της διάχυσης και της ώσμωσης. Όλες οι παραπάνω έρευνες κατέγραψαν τη δυσκολία των μαθητών/φοιτητών να επιτυγχάνουν μεταφράσεις μεταξύ αναπαραστάσεων και να αντιλαμβάνονται την αντιστοιχία των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών.

Συνεπώς, βασιζόμενοι στα μέχρι τώρα συμπεράσματα και ευρήματα της βιβλιογραφίας θεωρούμε απαραίτητο να εξεταστεί η ικανότητα μετάβασης των Ελλήνων μαθητών και προπτυχιακών φοιτητών από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο για μια σειρά θεμελιωδών χημικών εννοιών, τις οποίες διδάσκονται οι μαθητές στα πρώτα χρόνια της εκπαίδευσής τους και πάνω σε αυτές βασίζεται η μετέπειτα ανάπτυξη επιστημονικών εννοιών και πεδίων (οργανική χημεία, χημική ισορροπία, χημική κινητική, θερμοχημεία, οξειδοαναγωγή, στοιχειομετρία κτλ.). Οι θεμελιώδεις έννοιες που θα εξεταστούν είναι οι εξής: χημικό στοιχείο, χημική ένωση, στερεή κατάσταση της ύλης, υδατικό διάλυμα και χημική αντίδραση. Η ικανότητα μετάβασης μεταξύ των επιπέδων της χημείας θα αποτελέσει ένα μέτρο του βαθμού ουσιαστικής κατανόησης των βασικών αυτών εννοιών, ώστε να αξιολογήσουμε πόσο γερά είναι τα θεμέλια πάνω στα οποία φιλοδοξούμε να δομήσουν οι μαθητές τις χημικές γνώσεις και θα συμβάλλει στην ανάπτυξη βελτιωμένων διδακτικών προσεγγίσεων, στη διαμόρφωση των αναλυτικών προγραμμάτων και στη συγγραφή βιβλίων.

4.2 Στόχοι, υποθέσεις και ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας

Ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να καταγραφούν, να αναδειχθούν, να συσχετισθούν, να ερμηνευτούν και να διατεθούν στην

επιστημονική κοινότητα δεδομένα που αφορούν στην ικανότητα μετάφρασης βασικών εννοιών μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας, μαθητών και προπτυχιακών φοιτητών στην Ελλάδα. Επίσης, να διαπιστωθούν τα σημεία στα οποία δυσκολεύονται οι μαθητές/φοιτητές κατά τη μετάβαση αυτή. Από τα παραπάνω δεδομένα θα προέκυπταν συμπεράσματα για το επίπεδο της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell και της «μεταοπικοποίησης» κατά Gilbert, καθώς η ικανότητα μετάβασης μεταξύ διαφορετικών μορφών αναπαραστάσεων αποτελεί χαρακτηριστικό των προαναφερόμενων δεξιοτήτων. Τέλος, θα προέκυπταν συμπεράσματα για την εννοιολογική κατανόηση των εξεταζόμενων εννοιών και θα ανιχνεύονταν εναλλακτικές αντιλήψεις για αυτές.

Γνωρίζουμε ότι οι Έλληνες μαθητές/φοιτητές δεν είναι εξοικειωμένοι ούτε με τις μεταφράσεις μεταξύ αναπαραστάσεων ούτε με το συσχετισμό μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας. Επίσης, όπως προέκυψε από προηγούμενη έρευνα που πραγματοποιήσαμε[101], τα βιβλία που διδάσκονται δεν περιέχουν αναπαραστάσεις και στα τρία επίπεδα, στις οποίες να επισημαίνεται η αντιστοιχία μεταξύ τους. Συνεπώς, περιμένουμε οι μαθητές/φοιτητές να αντιμετωπίσουν αυξημένες δυσκολίες στις ζητούμενες μεταφράσεις της έρευνας. Υποθέτουμε ότι: α) Η ικανότητα μετάφρασης δεν θα εξαρτάται από το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση. Για παράδειγμα, εάν οι μαθητές/φοιτητές μπορούν να επιτύχουν μία μετάφραση για μία έννοια μεταξύ δύο επιπέδων (π.χ. από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο), τότε θα μπορούν να επιτύχουν και την αντίστροφη (από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο). Δηλαδή, εάν οι μαθητές/φοιτητές μπορούν να μεταφράσουν το μοριακό τύπο μίας ουσίας στην αντίστοιχη αναπαράσταση των μορίων, τότε υποθέτουμε ότι θα μπορούν να μεταφράσουν και μία αναπαράσταση μορίων στον αντίστοιχο μοριακό τύπο. β) Εάν οι μαθητές/φοιτητές μπορούν να επιτύχουν μία μετάφραση για ένα σύνθετο συμβολικό σύστημα (π.χ. μετάφραση μίας χημικής εξίσωσης από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο) τότε θα μπορούν να επιτύχουν την αντίστοιχη μετάφραση για τα πιο απλά επιμέρους συμβολικά συστήματα (π.χ. μετάφραση ενός μοριακού τύπου από το συμβολικό στο μικροσκοπικό

επίπεδο). γ) Η ικανότητα μετάφρασης θα συνδέεται με τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές/φοιτητές για τις εξεταζόμενες έννοιες.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που διαμορφώθηκαν είναι τα εξής:

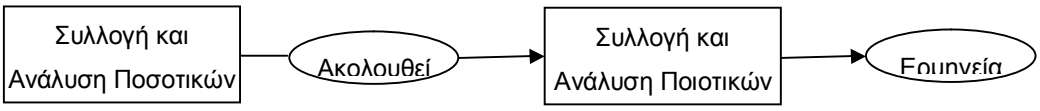
- Ποια είναι η ικανότητα μαθητών/φοιτητών να μεταφράζουν αναπαραστάσεις των θεμελιωδών χημικών εννοιών: «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση», «διάλυμα», «χημική αντίδραση» και «στερεή κατάσταση» από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο;
- Πως σχετίζεται η ικανότητα μετάφρασης αναπαραστάσεων μεταξύ των επιπέδων της χημείας με τη βαθμίδα εκπαίδευσης (δευτεροβάθμια – τριτοβάθμια);
- Πως σχετίζεται η ικανότητα μετάφρασης αναπαραστάσεων μεταξύ των επιπέδων της χημείας με την επιλογή κατεύθυνσης στο Λύκειο;
- Πως σχετίζεται η ικανότητα μετάφρασης αναπαραστάσεων μεταξύ των επιπέδων της χημείας με το φύλο;
- Ποιες εναλλακτικές αντιλήψεις έχουν οι μαθητές/φοιτητές για τις εξεταζόμενες έννοιες;
- Διαφοροποιούνται οι εναλλακτικές αντιλήψεις με τη βαθμίδα εκπαίδευσης;

4.3 Μεθοδολογία

4.3.1 Επιλογή μεθόδου

Για τη διεξαγωγή της έρευνας χρησιμοποιήσαμε μία μικτή μέθοδο, η οποία αποτελείται τόσο από ποσοτικό όσο και από ποιοτικό σκέλος[109]. Συγκεκριμένα, επιλέξαμε τον επεξηγηματικό διαδοχικό σχεδιασμό (explanatory sequential design), ο οποίος αποτελείται από δύο διακριτές αλληλεπιδραστικές φάσεις: Αρχικά γίνεται η συλλογή και η ανάλυση των ποσοτικών δεδομένων, τα οποία έχουν προτεραιότητα στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων και ακολουθεί η συλλογή και η ανάλυση των ποιοτικών δεδομένων. Η δεύτερη ποιοτική φάση της έρευνας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να είναι συνέχεια των αποτελεσμάτων της αρχικής

ποσοτικής φάσης. Η ερμηνεία των ποιοτικών αποτελεσμάτων βοηθά στην επεξήγηση των αρχικών ποσοτικών αποτελεσμάτων.



4.3.2 Τα ερευνητικά στάδια

Τα βήματα του επεξηγηματικού διαδοχικού σχεδιασμού περιγράφονται στη βιβλιογραφία[109] ως εξής:

<u>ΒΗΜΑ 1:</u> *Σχεδιασμός και εφαρμογή του ποσοτικού σταδίου*

- Ορισμός ερευνητικών ερωτημάτων της ποσοτικής έρευνας και καθορισμός της ποσοτικής προσέγγισης.
- Απόκτηση αδειών.
- Αναγνώριση του δείγματος της ποσοτικής έρευνας.
- Συλλογή δεδομένων κλειστού τύπου με εργαλεία.
- Στατιστική ανάλυση των ποσοτικών δεδομένων προκειμένου να απαντηθούν τα ερωτήματα της ποσοτικής έρευνας και να γίνει η επιλογή των συμμετεχόντων για τη δεύτερη φάση.

<u>ΒΗΜΑ 2:</u> *Χρησιμοποίηση στρατηγικών που θα ακολουθήσουν τα ποσοτικά αποτελέσματα*

- Καθορισμός των αποτελεσμάτων που πρέπει να εξηγηθούν.
- Χρησιμοποίηση των ποσοτικών δεδομένων για:
  - να αναθεωρηθούν τα ερωτήματα της ποιοτικής έρευνας και της μικτής μεθόδου,
  - να καθοριστεί ποιοι συμμετέχοντες θα επιλεχθούν για το δείγμα της ποιοτικής έρευνας,
  - να σχεδιαστούν τα πρωτόκολλα συλλογής των ποιοτικών δεδομένων.

ΒΗΜΑ 3: *Σχεδιασμός και εφαρμογή του ποιοτικού σταδίου*

- Ορισμός ερευνητικών ερωτημάτων της ποιοτικής έρευνας που ακολουθεί τα ποσοτικά αποτελέσματα και καθορισμός της ποιοτικής προσέγγισης.
- Απόκτηση αδειών.
- Επιλογή του δείγματος της ποιοτικής έρευνας που θα μπορούσε να βοηθήσει να εξηγηθούν τα ποσοτικά αποτελέσματα.
- Συλλογή δεδομένων ανοικτού τύπου με πρωτόκολλα που είναι ενημερωμένα (informed) από τα ποσοτικά αποτελέσματα.
- Ανάλυση των ποιοτικών αποτελεσμάτων.

ΒΗΜΑ 4: *Ερμηνεία των συνδεδεμένων αποτελεσμάτων*

- Σύνοψη και ερμηνεία των ποσοτικών αποτελεσμάτων.
- Σύνοψη και ερμηνεία των ποιοτικών αποτελεσμάτων.
- Συζήτηση για το βαθμό και τους τρόπους που τα ποιοτικά αποτελέσματα μπορούν να βοηθήσουν στην εξήγηση των ποσοτικών δεδομένων.

Για τη διεξαγωγή της ποσοτικής έρευνας επιδιώχθηκε η ανάπτυξη ενός κοινά αποδεκτού, έγκυρου και αξιόπιστου ερευνητικού εργαλείου. Για το σκοπό αυτό οργανώσαμε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο θα μας έδινε σαφείς πληροφορίες για την ικανότητα μετάφρασης βασικών χημικών εννοιών μεταξύ του μακροσκοπικού, μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου της χημείας. Έγινε προσπάθεια να κατασκευαστούν κατάλληλες ερωτήσεις και να διαμορφωθούν οι συνθήκες που ευνοούν την αξιόπιστη συμπλήρωση ενός τέτοιου ερωτηματολογίου. Με τον τρόπο οργάνωσης του ερωτηματολογίου έγινε προσπάθεια να εξασφαλισθεί: (α) η ψυχολογική αποφόρτιση καθώς το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο και έτσι οι μαθητές/φοιτητές δεν διατρέχουν κάποιο προσωπικό κίνδυνο που έχει σχέση με το βαθμό τους ή την προαγωγή τους και (β) η σφαιρικότητα, αφού οι ερωτήσεις αφορούν σε αρκετές χημικές, έννοιες που οι μαθητές έχουν ήδη διδαχθεί στο σχολείο, και σε διάφορους συνδυασμούς επιπέδων. Κατά τη σύνταξη του ερευνητικού ερωτηματολογίου ακολουθήθηκαν οι γενικές αρχές - κανόνες που προτείνονται από τη βιβλιογραφία[110,111].

Στη συνέχεια, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και η οποία περιγράφεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

Α. Μία αρχική εφαρμογή και αξιολόγηση των ερωτήσεων.

Β. Το στάδιο της πιλοτικής έρευνας. Κατά το στάδιο αυτό διεξήχθη πιλοτική εφαρμογή της 1^{ης} έκδοσης του ερωτηματολογίου. Μετά την πιλοτική εφαρμογή έγινε ποσοτική ανάλυση των ερωτήσεων και διαμορφώθηκε η 2^{η} και τελική έκδοση του ερωτηματολογίου.

Γ. Την εφαρμογή των ερωτηματολογίων σε 466 μαθητές Λυκείου και σε 86 προπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος Χημείας. Μετά την εφαρμογή των ερωτηματολογίων ακολούθησε ποσοτική ανάλυση.

Δ. Τη διεξαγωγή συνεντεύξεων σε 16 μαθητές Λυκείου. Ακολούθησε ποιοτική ανάλυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

5.1 Αρχική διερεύνηση

Προκειμένου να κατασκευαστεί το ερωτηματολόγιο διεξήγαμε μια προκαταρκτική διερεύνηση των απόψεων των μαθητών για τα βασικά είδη των αναπαραστάσεων που σκοπεύαμε να χρησιμοποιήσουμε στην έρευνα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάσαμε και χρησιμοποιήσαμε ένα διερευνητικό ερωτηματολόγιο (παράρτημα Ι, σελ. 223), το οποίο αποτελείται από δέκα ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Η καθεμία από αυτές τις ερωτήσεις δίνει μία χημική αναπαράσταση και ζητάει από τους μαθητές: α) να γράψουν τι πληροφορίες παίρνουν από την αναπαράσταση και β) να περιγράψουν γραπτά την αναπαράσταση σε κάποιον συμμαθητή τους που δεν τη βλέπει. Ο στόχος ήταν να διερευνηθούν οι πληροφορίες που αντλούν οι μαθητές από τις αναπαραστάσεις καθώς, επίσης, και τα χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων στα οποία δίνουν σημασία. Οι χημικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούσαν και στα τρία επίπεδα της χημείας (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό) και αφορούσαν τις βασικές έννοιες «μόριο», «ιόν», «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση», «φυσικές καταστάσεις της ύλης», «χημική αντίδραση», «μίγμα» και «διάλυμα».

5.1.1 Αποτελέσματα διερευνητικού ερωτηματολογίου

Το διερευνητικό ερωτηματολόγιο δόθηκε σε μαθητές διαφόρων τάξεων, ώστε να διερευνηθούν οι απόψεις τους και να επιλεχθεί η πιο κατάλληλη τάξη για τους μαθητές του δείγματος της κύριας έρευνας. Συγκεκριμένα, το ερωτηματολόγιο δόθηκε σε 41 μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου από τους οποίους: 17 ήταν μαθητές Β΄ Γυμνασίου, 12 ήταν μαθητές Γ΄ Γυμνασίου, 9 ήταν μαθητές Α΄ Λυκείου και 3 ήταν Β΄ τάξης Λυκείου. Παρακάτω ακολουθεί μία περιγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν ανά τάξη.

<u>Β΄ Γυμνασίου</u>: Να σημειώσουμε ότι το διερευνητικό ερωτηματολόγιο δόθηκε στην αρχή της σχολικής χρονιάς, όπου οι μαθητές της Β΄ Γυμνασίου δεν είχαν διδαχθεί ακόμη τη σωματιδιακή θεωρία της ύλης. Με τον τρόπο αυτό θα διερευνούσαμε τις απόψεις των μαθητών για τις εξεταζόμενες χημικές έννοιες οι οποίες προέρχονται από συναφή μαθήματα τόσο από το Δημοτικό και το μάθημα των Φυσικών, όσο και από την Α΄ Γυμνασίου και το μάθημα της Βιολογίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σύγχυση με τη Βιολογία και με όρους όπως για παράδειγμα το κύτταρο. Οι μαθητές χρησιμοποιούν τους όρους «μόριο» και «χημική ένωση», τους οποίους έχουν ακούσει από τις διδασκαλίες στα μαθήματα των Φυσικών και της Βιολογίας, όμως με εντελώς λάθος ερμηνεία, χωρίς να καταλαβαίνουν τη σημασία τους. Αναφορικά με τις συμβολικές αναπαραστάσεις, δεν μπορούν να τις ερμηνεύσουν σωστά, όμως καταλαβαίνουν ότι πρόκειται για κάποιο σύμβολο ή κάποιον τύπο και μάλιστα κάποιοι «διαβάζουν» τον τύπο (π.χ. ερμηνεύουν το Μ.Τ. «H_3PO_4» ως: «*κεφαλαίο Η κάτω 3 κεφαλαίο Ρ και Ο κάτω 4»*,). Τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις τις περιγράφουν όπως τις βλέπουν (π.χ. *«πολύχρωμα κυκλάκια ενωμένα»*, *«μια μεγάλη γκρι μπάλα, 3 μικρά μπλε μπαλάκια γύρω»* κ.α.). Στις μακροσκοπικές αναπαραστάσεις δεν μπορούν να αναγνωρίσουν το περιεχόμενο κάποιων εικόνων, παρόλο που δεν απαιτούνται προαπαιτούμενες χημικές γνώσεις. Για παράδειγμα, δεν αναγνωρίζουν το μεταλλικό τμήμα, ίσως γιατί δεν είναι οικεία εικόνα από την καθημερινή ζωή, ενώ είναι πολύ λίγοι αυτοί που αναγνωρίζουν το καρφί!

<u>Γ΄ Γυμνασίου</u>: Στους χημικούς τύπους ενώσεων (H_3PO_4, $HC\ell_{(\ell)}$) και ιόντων (CO_3^{2-}) οι μαθητές αναγνωρίζουν τα σύμβολα των χημικών στοιχείων και αναφέρουν τις ονομασίες τους και επίσης αναγνωρίζουν την ερμηνεία των δεικτών. Ωστόσο, παρατηρούνται παρανοήσεις σχετικά με την ερμηνεία του εκθέτη στον τύπο του ιόντος και την ερμηνεία του δείκτη «ℓ» της φυσικής κατάστασης. Στις περιγραφές των χημικών τύπων οι περισσότεροι μαθητές δεν χρησιμοποιούν τους όρους «μόριο» ή «ιόν» ή «χημικός τύπος».

Στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις περίπου οι μισοί μαθητές αναγνωρίζουν ότι οι σφαίρες απεικονίζουν άτομα ή χημικά στοιχεία, ενώ οι υπόλοιποι τις περιγράφουν ως κυκλάκια ή μπαλάκια. Ωστόσο, ακόμα και αυτοί που

αναγνωρίζουν τα άτομα αδυνατούν να περιγράψουν σωστά την αναπαράσταση και συγχέουν τους όρους «χημική ένωση», «μόριο» και «άτομο». Σε κάποιες περιπτώσεις αντιστοιχίζουν αυθαίρετα το κάθε χρώμα με ένα συγκεκριμένο χημικό στοιχείο ή ταυτοποιούν τη μικροσκοπική αναπαράσταση με μία γνωστή ένωση (π.χ. νερό ή διοξείδιο του άνθρακα). Επίσης, κάποιοι μαθητές αναφέρουν ότι η μικροσκοπική αναπαράσταση είναι ο μοριακός τύπος ή ο τύπος της ένωσης και κάποιοι άλλοι θεωρούν το κρυσταλλικό πλέγμα ως μεγαλομόριο ή ως στερεή ουσία.

Α΄ Λυκείου: Στις συμβολικές αναπαραστάσεις οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι οι μοριακοί τύποι συμβολίζουν χημικές ενώσεις, αναγνωρίζουν τα σύμβολα των χημικών στοιχείων και ερμηνεύουν σωστά τους δείκτες. Αντίθετα, παρατηρούνται παρανοήσεις στην ερμηνεία του εκθέτη στο σύμβολο του ιόντος και στην ερμηνεία του δείκτη «ℓ» της φυσικής κατάστασης. Στις περιγραφές των αναπαραστάσεων οι μαθητές συγχέουν τις έννοιες «άτομο», «μόριο», «ιόν», «χημικό στοιχείο» και «χημική ένωση».

Στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι οι σφαίρες απεικονίζουν χημικά στοιχεία ή άτομα και ότι το κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε διαφορετικό χημικό στοιχείο. Ωστόσο, ταυτοποιούν αυθαίρετα χρώμα σφαίρας με συγκεκριμένο χημικό στοιχείο και μικροσκοπικές αναπαραστάσεις με συγκεκριμένες ενώσεις (π.χ. νερό ή NaCℓ), αποδίδουν χρώμα στα άτομα, δεν αναγνωρίζουν τα ιόντα ακόμα και αν αναγνωρίσουν τον ιοντικό δεσμό και το κρυσταλλικό πλέγμα και περιγράφουν τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιώντας τα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά (π.χ. πολύχρωμες μπάλες) και όχι τις υποκείμενες έννοιες.

Στις μακροσκοπικές αναπαραστάσεις οι περισσότεροι μαθητές περιγράφουν σωστά τις εικόνες και παρατηρείται η τάση να κάνουν σύνδεση με τη χημεία (π.χ. αναγράφουν χημικούς τύπους). Ωστόσο, ταυτοποιούν και πάλι αφηρημένες εικόνες με συγκεκριμένα υλικά (π.χ. ένα τμήμα μετάλλου με το νάτριο).

Β΄ Λυκείου: Τα αποτελέσματα στους μαθητές της Β΄ Λυκείου είναι, σε γενικές γραμμές, ίδια με αυτά των μαθητών της Α΄ Λυκείου.

5.1.2 Συμπεράσματα διερευνητικού ερωτηματολογίου

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται βελτίωση στην κατανόηση των χημικών αναπαραστάσεων καθώς προχωρά η εκπαίδευση των μαθητών. Η βελτίωση είναι μεγάλη από τη Β΄ στη Γ΄ Γυμνασίου καθώς οι μαθητές διδάσκονται τη σωματιδιακή φύση της ύλης και μικρότερη στο Λύκειο όπου ολοκληρώνεται η μελέτη των εννοιών. Η προκαταρκτική διερεύνηση εκτός των άλλων επιβεβαιώνει την ανάγκη για περισσότερη έρευνα σχετικά με τις χημικές αναπαραστάσεις.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν και ελήφθησαν υπόψη στην κατασκευή του ερωτηματολογίου είναι τα εξής:

- Θα πρέπει να δίνονται λεκτικές περιγραφές των αναπαραστάσεων ώστε να καθίστανται κατανοητές και σαφείς οι ερωτήσεις.
- Στις μακροσκοπικές αναπαραστάσεις θα πρέπει να επισημαίνονται με επισημάνσεις τα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά, ώστε όλοι οι μαθητές να αναγνωρίζουν το περιεχόμενό τους. Στις αναπαραστάσεις πειραμάτων θα πρέπει να απεικονίζεται ξεχωριστά η αρχική και η τελική κατάσταση των αντιδρώντων και των προϊόντων γιατί εάν συνυπάρχουν σε μία φωτογραφία δεν μπορούν να προκύψουν σαφή συμπεράσματα.
- Αναφορικά με τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, η μορφή που χρησιμοποιήθηκε είναι κατάλληλη και κατανοητή από τους μαθητές, ωστόσο θα πρέπει να δίνεται η ερμηνεία των επιφανειακών χαρακτηριστικών, δηλαδή η σύμβαση της αναπαράστασης.

5.2 Περιγραφή ερωτηματολογίου – 1^{η} έκδοση

Μετά την ολοκλήρωση της αρχικής διερεύνησης, προβήκαμε στην κατασκευή της 1^{ης} έκδοσης του ερωτηματολογίου, η οποία περιλαμβάνει 15 ερωτήσεις (παράρτημα ΙΙ, σελ. 225). Η επιλογή των ερωτήσεων προέκυψε ύστερα από διεξοδική μελέτη σχετικής βιβλιογραφίας και λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της αρχικής διερεύνησης. Επίσης, ελήφθησαν υπόψη: (α) ο μαθητής, (β) το αναλυτικό πρόγραμμα και (γ) τα σχολικά εγχειρίδια, ώστε τα

υπό διερεύνηση θέματα να προσαρμόζονται στις ανάγκες και στις δυνατότητες των μαθητών.

Ως προς τη μορφή οι 14 ερωτήσεις είναι κλειστού ή αντικειμενικού τύπου πολλαπλής επιλογής και 1 ερώτηση είναι ανοικτού τύπου σύντομης απάντησης. Ως προς το περιεχόμενο οι ερωτήσεις δίνουν μία χημική αναπαράσταση σε κάποιο από τα τρία επίπεδα της χημείας (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό ή συμβολικό) και ζητούν από τους μαθητές να επιλέξουν ή να κατασκευάσουν την αντίστοιχη αναπαράσταση του εικονιζόμενου φαινομένου ή υλικού σε κάποιο άλλο επίπεδο. Οι αναπαραστάσεις αφορούν στις βασικές χημικές έννοιες: «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση», «φυσική κατάσταση», «υδατικό διάλυμα» και «χημική αντίδραση». Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε άτομο ή μονοατομικό ιόν να συμβολίζεται με ένα κύκλο και τα άτομα ή τα ιόντα διαφορετικών στοιχείων με κύκλους διαφορετικών χρωμάτων και μεγέθους. Οι συμβολικές αναπαραστάσεις περιέχουν σύμβολα τα οποία θεωρητικά είναι γνωστά στους μαθητές από προηγούμενες τάξεις και οι μακροσκοπικές αναπαραστάσεις περιλαμβάνουν λεκτικές περιγραφές ώστε να καθίσταται σαφές το περιεχόμενό τους.

Με βάση τα είδη των αναπαραστάσεων μεταξύ των οποίων εξετάζεται η μετάφραση οι ερωτήσεις κατανέμονται ως εξής:

- 4 ερωτήσεις δίνουν μία συμβολική αναπαράσταση και ζητούν την αντίστοιχη μικροσκοπική (μετάφραση «συμβο→μικρο»[2]).
- 4 ερωτήσεις δίνουν μία μικροσκοπική αναπαράσταση και ζητούν την αντίστοιχη συμβολική (μετάφραση «μικρο→συμβο»).
- 2 ερωτήσεις δίνουν μία μικροσκοπική αναπαράσταση και ζητούν την αντίστοιχη μακροσκοπική (μετάφραση «μικρο→μακρο»).

---

[2]Στην παρούσα εργασία οι μεταφράσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων θα συμβολίζονται με βάση τα είδη τους ως εξής: «συμβο→μικρο», «μικρο→μακρο» κ.ο.κ., όπου «συμβο»: συμβολική αναπαράσταση, «μικρο: μικροσκοπική αναπαράσταση και «μακρο»: μακροσκοπική αναπαράσταση.

- 3 ερωτήσεις δίνουν μία μακροσκοπική αναπαράσταση και ζητούν την αντίστοιχη μικροσκοπική (μετάφραση «μακρο→μικρο»).
- 2 ερωτήσεις ζητούν από τους μαθητές να συσχετίσουν και τα τρία είδη των αναπαραστάσεων («μικρο-μακρο-συμβο»).

Με βάση τις έννοιες οι οποίες εξετάζονται οι ερωτήσεις κατανέμονται ως εξής:

- Η έννοια του «χημικού στοιχείου» εξετάζεται στις ερωτήσεις 3 και 5 (παράρτημα ΙΙ). Η 3η ερώτηση δίνει τη φωτογραφία ενός χημικού στοιχείου (μεταλλικό νάτριο) και ζητάει την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση, ενώ η 5η ερώτηση εξετάζει την αντίστροφη μετάφραση για ένα άλλο χημικό στοιχείο (χρυσός).

- Η έννοια της «χημικής ένωσης» εξετάζεται στις ερωτήσεις 1, 2, 4, 7 και 14 (παράρτημα ΙΙ). Η 1η ερώτηση δίνει το μοριακό τύπο (HI) και τη φυσική κατάσταση (αέρια) μίας ουσίας και ζητάει από τους μαθητές να επιλέξουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση που να απεικονίζει τα σωματίδια της ουσίας. Η 4η ερώτηση εξετάζει μία παρόμοια μετάφραση, με τη διαφορά ότι η φυσική κατάσταση της ουσίας δεν δίνεται λεκτικά, αλλά περιέχεται στο μοριακό τύπο με τον αντίστοιχο δείκτη ($CO_{2(s)}$). Η 2η ερώτηση δίνει τη μικροσκοπική αναπαράσταση των μορίων μίας ουσίας και ζητάει το μοριακό της τύπο, και η 7η ερώτηση δίνει μία ανάλογη μικροσκοπική αναπαράσταση αλλά ζητάει μοριακό τύπο που να περιέχει και δείκτη για τη φυσική κατάσταση της ουσίας. Τέλος, η 14η ερώτηση εξετάζει αν οι μαθητές μπορούν να συσχετίσουν και τα τρία επίπεδα της χημείας. Στην ερώτηση δίνονται τέσσερις τριάδες, όπου η καθεμία αποτελείται από μία μακροσκοπική, μία συμβολική και μία μικροσκοπική αναπαράσταση και ζητείται από τους μαθητές να αναγνωρίσουν σε ποια τριάδα οι αναπαραστάσεις απεικονίζουν την ίδια ουσία.

- Η έννοια του «υδατικού διαλύματος» εξετάζεται στις ερωτήσεις 6, 9, 12, 13 και 14 (παράρτημα ΙΙ). Στην 6η ερώτηση δίνεται η συμβολική αναπαράσταση ενός υδατικού διαλύματος και ζητείται η μικροσκοπική αναπαράσταση των σωματιδίων, ενώ στην 9η ερώτηση εξετάζεται η αντίστροφη μετάφραση. Στην 12η ερώτηση δίνεται η φωτογραφία ενός υδατικού διαλύματος και ζητείται η μικροσκοπική αναπαράσταση των

σωματιδίων, ενώ στην 13η ερώτηση εξετάζεται το αντίστροφο. Στην 14η ερώτηση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εξετάζεται ο συσχετισμός και για τα τρία είδη των αναπαραστάσεων.

- Η έννοια της «χημικής αντίδρασης» εξετάζεται στις ερωτήσεις 8, 10, 11 και 15 (παράρτημα ΙΙ). Στην 8η ερώτηση δίνεται η χημική εξίσωση μιας αντίδρασης και ζητείται η μικροσκοπική αναπαράσταση των σωματιδίων, ενώ στη 10η ερώτηση ζητείται η αντίστροφη μετάφραση για μία άλλη χημική αντίδραση. Στην 11η ερώτηση δίνεται η φωτογραφία μίας χημικής αντίδρασης και ζητείται η μικροσκοπική αναπαράσταση, ενώ στην 15η ερώτηση εξετάζεται ο συσχετισμός και των τριών επιπέδων της χημείας. Συγκεκριμένα, δίνονται τέσσερις τριάδες χημικών αναπαραστάσεων, όπου η μία αναπαράσταση είναι μακροσκοπική, η δεύτερη είναι συμβολική και η τρίτη είναι μικροσκοπική, και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την τριάδα στην οποία και οι τρεις αναπαραστάσεις απεικονίζουν την ίδια χημική αντίδραση.

- Η έννοια της «φυσικής κατάστασης» εξετάζεται στις ερωτήσεις 1, 3, 4, 5, 7, και 14 σε συνδυασμό είτε με την έννοια του «χημικού στοιχείου» είτε της «χημικής ένωσης» (παράρτημα ΙΙ).

5.3 Πιλοτική έρευνα

Προκειμένου να ελεγχθεί το εργαλείο που κατασκευάστηκε για την ποσοτική έρευνα διεξήχθη πιλοτική έρευνα χρησιμοποιώντας ένα μικρό δείγμα του πληθυσμού-στόχου. Με την πιλοτική έρευνα ελέγχεται στατιστικά η εγκυρότητα και η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου και επιπλέον ελέγχεται η αναγνωσιμότητα, η δυνατότητα άνετης συμπλήρωσής του από τους ερωτώμενους και ο απαιτούμενος χρόνος για τη συμπλήρωσή του[112]. Η πιλοτική έρευνα πραγματοποιήθηκε στο 2ο Πειραματικό Λύκειο Αθήνας και στο Λύκειο Κορωπίου με συνολικό δείγμα 91 μαθητές. Οι κατανομές του δείγματος σύμφωνα με το φύλο των μαθητών και την κατεύθυνση σπουδών στο Λύκειο παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1 και 5.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Η κατανομή του δείγματος της πιλοτικής έρευνας σύμφωνα με το φύλο των μαθητών.

	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
Αγόρια	54	59,3%
Κορίτσια	37	40,7%
ΣΥΝΟΛΟ	**91**	**100,0%**

Πίνακας 5.2: Η κατανομή του δείγματος της πιλοτικής έρευνας σύμφωνα με την κατεύθυνση σπουδών στο Λύκειο.

	Συχνότητα	Σχετική συχνότητα
Μαθητές θετικής κατεύθυνσης	33	36,3%
Μαθητές τεχνολογικής κατεύθυνσης	22	24,2%
Μαθητές θεωρητικής κατεύθυνσης	36	39,6%
ΣΥΝΟΛΟ	**91**	**100,0%**

Η ανάλυση των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου έγινε με δύο τρόπους: (Α) ποσοτικά όσον αφορά στις στατιστικές τους ιδιότητες και (Β) ποιοτικά όσον αφορά στο περιεχόμενο και τη μορφή τους. Στόχος της ανάλυσης είναι να βρεθούν οι μη ικανοποιητικές ερωτήσεις, έτσι ώστε να αναθεωρηθούν, να αντικατασταθούν ή να απαλειφθούν[113].

5.3.1 Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας

Για τη ποσοτική ανάλυση της 1ης έκδοσης του ερωτηματολογίου εφαρμόστηκε η κλασική θεωρία ανάλυσης, οι μέθοδοι της οποίας πληρούν αρκετά ικανοποιητικά τις ανάγκες για την κατασκευή ενός ερωτηματολογίου[113]. Τα στάδια που εφαρμόστηκαν είναι ανάλυση: συναφειών, δεικτών του Cronbach *α*, μέσων τιμών και διακυμάνσεων, δεικτών δυσκολίας και δεικτών διαφοροποίησης.

Στο παράρτημα ΙΙΙ (σελ. 234) παρουσιάζονται οι συνάφειες ερώτησης-συνόλου ερωτήσεων, οι δείκτες Cronbach *α* για το ερωτηματολόγιο αν η ερώτηση παραλειφθεί και επιπλέον η μέση τιμή και η διακύμανση της κλίμακας αν η ερώτηση παραλειφθεί. Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε ερώτηση. Με βάση την επίδοσή τους οι μαθητές κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: Στην ομάδα χαμηλής επίδοσης (Χ.Ε.), η οποία περιέχει 47 μαθητές που απάντησαν σωστά σε 1 έως 6 ερωτήσεις.

Στην ομάδα υψηλής επίδοσης (Υ.Ε.), η οποία περιέχει 44 μαθητές που απάντησαν σωστά σε 7 έως 14 ερωτήσεις. Οι παραπάνω αναλύσεις έγιναν για τις 14 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, ενώ η ερώτηση ανοικτού τύπου (ερώτηση 10) αξιολογήθηκε με ανάλυση περιεχομένου των απαντήσεων των μαθητών και κρίθηκε κατάλληλη.

Τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας αποκάλυψαν τη γενική δυσκολία των μαθητών στις μεταφράσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων και την πιθανή παρουσία πολλών παρανοήσεων στις εξεταζόμενες έννοιες, γεγονός που δείχνει ότι απαιτείται περισσότερη διερεύνηση. Επίσης, προέκυψαν συμπεράσματα για την καταλληλότητα των εναλλακτικών απαντήσεων που δίνονται στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα αυτά τροποποιήθηκαν οι εναλλακτικές απαντήσεις που θεωρήθηκαν ακατάλληλες ή αντικαταστάθηκαν με άλλες ώστε να διερευνηθούν αναλυτικότερα οι πιθανές παρανοήσεις που βρέθηκαν. Ακόμη, απλοποιήθηκαν κάποιες ερωτήσεις ώστε να ταιριάζουν καλύτερα στα χαρακτηριστικά των μαθητών και να βοηθήσουν στην εξαγωγή περισσότερων συμπερασμάτων. Τελικά διαμορφώθηκε η 2^{η} έκδοση του ερωτηματολογίου (παράρτημα IV, σελ. 235).

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε.	Ομάδα Υ.Ε.	Δείκτης Διακρ/τας	Συμπεράσματα
1α	18	19,8%	23,4%	15,9%		Κατάλληλη
1β*	**58**	**63,7%**	**51,1%**	**77,3%**	**26,2**	Κατάλληλη
1γ	10	11,0%	21,3%	0,0%		Κατάλληλη
1δ	5	5,5%	6,4%	4,5%		Ίσως ακατάλληλη
2α*	**19**	**20,9%**	**8,5%**	**34,1%**	**25,6**	Κατάλληλη
2β	35	38,5%	46,8%	29,5%		Πιθανή παρανόηση
2γ	13	14,3%	14,9%	13,6%		Κατάλληλη
2δ	24	26,4%	29,8%	22,7%		Πιθανή παρανόηση
3α*	**39**	**42,9%**	**31,9%**	**54,5%**	**22,6**	Κατάλληλη
3β	3	3,3%	6,4%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
3γ	2	2,2%	4,3%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
3δ	45	49,5%	53,2%	45,5%		Πιθανή παρανόηση
4α	9	9,9%	14,9%	4,5%		Κατάλληλη
4β	50	54,9%	70,2%	38,6%		Πιθανή παρανόηση
4γ*	**27**	**29,7%**	**12,8%**	**47,7%**	**34,9**	Κατάλληλη
4δ	5	5,5%	2,1%	9,1%		Ίσως ακατάλληλη
5α*	**75**	**82,4%**	**70,2%**	**95,5%**	**25,3**	Κατάλληλη
5β	0	0,0%	0,0%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
5γ	12	13,2%	21,3%	4,5%		Κατάλληλη
5δ	3	3,3%	6,4%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
6α	43	47,3%	46,8%	47,7%		Πιθανή παρανόηση
6β	7	7,7%	14,9%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
6γ*	**24**	**26,4%**	**19,1%**	**34,1%**	**15,0**	Κατάλληλη
6δ	17	18,7%	19,1%	18,2%		Κατάλληλη
7α*	**60**	**65,9%**	**48,9%**	**84,1%**	**35,2**	Κατάλληλη
7β	6	6,6%	8,5%	4,5%		Ίσως ακατάλληλη
7γ	11	12,1%	19,1%	4,5%		Κατάλληλη
7δ	14	15,4%	23,4%	6,8%		Κατάλληλη
8α	15	16,5%	21,3%	11,4%		Πιθανή παρανόηση
8β	38	41,8%	48,9%	34,1%		Πιθανή παρανόηση
8γ	21	23,1%	23,4%	22,7%		Πιθανή παρανόηση
8δ*	**17**	**18,7%**	**6,4%**	**31,8%**	**25,4**	Κατάλληλη
9α	12	13,2%	12,8%	13,6%		Κατάλληλη
9β*	**26**	**28,6%**	**19,1%**	**38,6%**	**19,5**	Κατάλληλη
9γ	14	15,4%	17,0%	13,6%		Κατάλληλη
9δ	38	41,8%	48,9%	34,1%		Πιθανή παρανόηση
11α	9	9,9%	14,9%	4,5%		Κατάλληλη
11β*	**52**	**57,1%**	**42,6%**	**72,7%**	**30,1**	Κατάλληλη
11γ	7	7,7%	12,8%	2,3%		Ίσως ακατάλληλη
11δ	23	25,3%	29,8%	20,5%		Πιθανή παρανόηση
12α	55	60,4%	68,1%	52,3%		Πιθανή παρανόηση
12β	1	1,1%	2,1%	0,0%		Ίσως ακατάλληλη
12γ	9	9,9%	14,9%	4,5%		Κατάλληλη
12δ*	**25**	**27,5%**	**12,8%**	**43,2%**	**30,4**	Κατάλληλη
13α	2	2,2%	0,0%	4,5%		Ίσως ακατάλληλη
13β*	**57**	**62,6%**	**53,2%**	**72,7%**	**19,5**	Κατάλληλη
13γ	28	30,8%	42,6%	18,2%		Πιθανή παρανόηση
13δ	4	4,4%	4,3%	4,5%		Ίσως ακατάλληλη
14α	9	9,9%	8,5%	11,4%		Κατάλληλη
14β	17	18,7%	23,4%	13,6%		Κατάλληλη

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε.	Ομάδα Υ.Ε.	Δείκτης Διακρ/τας	Συμπεράσματα
14γ	18	19,8%	31,9%	6,8%		Κατάλληλη
14δ*	**59**	**64,8%**	**44,7%**	**86,4%**	**41,7**	Κατάλληλη
15α	18	19,8%	21,3%	18,2%		Πιθανή παρανόηση
15β	40	44,0%	51,1%	36,4%		Πιθανή παρανόηση
15γ*	**32**	**35,2%**	**25,5%**	**45,5%**	**20,0**	Κατάλληλη
15δ	11	12,1%	12,8%	11,4%		Κατάλληλη
Με * επισημαίνεται η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση.						

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ

6.1 Το δείγμα

Βασική επιδίωξη κάθε ερευνητή είναι να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή βεβαιότητα στα συμπεράσματα που εξάγει για τον πληθυσμό από τα δεδομένα του δείγματος. Για να εξασφαλισθεί αυτή η επιδίωξη, δηλαδή οι γενικεύσεις για τον πληθυσμό να είναι έγκυρες, απαραίτητη προϋπόθεση είναι το χρησιμοποιούμενο δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού. Αυτό συμβαίνει όταν τα σχετικά με το θέμα της έρευνας κρίσιμα χαρακτηριστικά-ιδιότητες είναι ίδια στο δείγμα και στον πληθυσμό. Η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος καθορίζεται, κυρίως, από δύο στοιχεία: (α) τον τρόπο επιλογής των περιπτώσεων που θα αποτελέσουν το δείγμα και (β) το μέγεθος του δείγματος.

Ο πληθυσμός στον οποίο επιθυμείται να γενικευτούν τα αποτελέσματα της έρευνάς μας είναι οι μαθητές της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου. Η επιλογή αυτή δικαιολογείται διότι σε αυτή την τάξη έχει ολοκληρωθεί πλήρως η διδασκαλία των βασικών εννοιών που επιδιώκεται να εξεταστούν, η οποία ξεκίνησε στη Β΄ και Γ΄ Γυμνασίου και επαναλήφθηκε στην Α΄ Λυκείου.

Η επιλογή του δείγματος των μαθητών που συμμετείχαν στην έρευνα έγινε με την τεχνική της «κατά συστάδες, τυχαίας» δειγματοληψίας, η οποία διευκολύνει από πρακτική πλευρά διότι δεν διαταράσσει τη λειτουργία του σχολείου. Οι συστάδες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα τμήματα της Β΄ τάξης δέκα (10) Γενικών Λυκείων. Με βάση την πληθυσμιακή κατανομή του μαθητικού δυναμικού της χώρας, επιλέχθηκαν: (α) πέντε Λύκεια του νομού Αττικής, (β) ένα Λύκειο του νομού Θεσσαλονίκης και (γ) τέσσερα Λύκεια στην υπόλοιπη Ελλάδα (Πίνακας 6.1).

Το μέγεθος του δείγματος ήταν τετρακόσιοι εξήντα έξι (466) μαθητές ηλικίας 16-17 ετών της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου, το οποίο κρίνεται ικανοποιητικά

Πίνακας 6.1: Τα σχολεία που συμμετείχαν στην έρευνα.

ΟΝΟΜΑ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΟΛΕΙΟΥ
2ο Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο Αθηνών	Παναγή Κυριακού 12, Αμπελόκηποι, 11521
3ο Λύκειο Υμηττού	Ιονίων Νήσων 33, Υμηττός, 17237
6ο Λύκειο Περιστερίου	Μιχαλακοπούλου 2 & Αγ. Τριάδος, Περιστέρι, 12137
2ο Λύκειο Ν. Ηρακλείου	Ακτίου 1 & Σμύρνης, Ν. Ηράκλειο, 14122
Λύκειο Κορωπίου	Πλατεία Μερκούρη, Κορωπί, 19400
Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο Πανεπιστημίου Μακεδονίας	Πρώην Στρατόπεδο Στρεμπενιώτη, Νεάπολη Θεσσαλονίκης, 56701
1ο Λύκειο Μεσολογγίου	Κύπρου 86, Μεσολόγγι, 30200
Λύκειο Δεμένικων	Ειρήνης και Φιλίας 29, Δεμένικα Πατρών, 26500
Λύκειο Βάρδας	Βάρδα Ηλείας, 27052
Τάξεις Λυκείου Κέας	Κέα, 84002

επαρκές ώστε να θεωρείται αντιπροσωπευτικό και να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα της δειγματοληψίας, τόσο το τυχαίο όσο και το σταθερό.

Η διαδικασία συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου απαιτούσε 45 - 50 λεπτά της ώρας.

6.2 Δημογραφικά στοιχεία

Τα ερωτηματολόγια που τελικά συγκεντρώθηκαν κατανέμονται ως εξής:

Σύμφωνα με το φύλο των μαθητών: Υπερτερούν τα κορίτσια από τα αγόρια (πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2: Η κατανομή του δείγματος σύμφωνα με το φύλο των μαθητών.

	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
Αγόρια	195	41,8%
Κορίτσια	269	57,7%
Δεν απάντησαν	2	0,4%
ΣΥΝΟΛΟ	**466**	**100,0%**

Σύμφωνα με την κατεύθυνση σπουδών που έχουν επιλέξει οι μαθητές στο Λύκειο: Το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών Λυκείου (44,8%) επιλέγουν τα μαθήματα της θεωρητικής κατεύθυνσης, ενώ περίπου ίσα είναι τα ποσοστά των μαθητών που επιλέγουν θετική και τεχνολογική κατεύθυνση (πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3: Η κατανομή του δείγματος των μαθητών σύμφωνα με την κατεύθυνση σπουδών στο Λύκειο.

	Συχνότητα	Σχετική συχνότητα
Μαθητές θετικής κατεύθυνσης	130	27,9%
Μαθητές τεχνολογικής κατεύθυνσης	123	26,4%
Μαθητές θεωρητικής κατεύθυνσης	209	44,8%
Δεν απάντησαν	4	0,9%
ΣΥΝΟΛΟ	**466**	**100,0 %**

6.3 Στατιστικός έλεγχος εγκυρότητας και αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου

Η αναθεώρηση ορισμένων ερωτήσεων στην 1η έκδοση του ερωτηματολογίου επέβαλε τον έλεγχο της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας του[111]. Για την ποσοτική ανάλυση εφαρμόστηκε η κλασική θεωρία ανάλυσης, η οποία προτιμήθηκε για την πληρότητα και την ευκολία της. Τα στάδια που εφαρμόστηκαν είναι ανάλυση: συναφειών, δεικτών του Cronbach *α*, μέσων τιμών και διακυμάνσεων, δεικτών δυσκολίας και δεικτών διαφοροποίησης. Με τη «συνάφεια ερώτησης - συνόλου ερωτήσεων» ελέγχεται μερικώς στατιστικά η «εσωτερική εγκυρότητα» και για τη μέτρησή της συνήθως χρησιμοποιείται ο δείκτης συνάφειας του Pearson, για τον οποίο οι απόψεις των επιστημόνων συγκλίνουν στο ότι το ελάχιστο όριο για να περιληφθεί μια ερώτηση σε ένα ερωτηματολόγιο είναι 0,20[111]. Με το δείκτη Cronbach *α* μετράται η αξιοπιστία «εσωτερικής συνέπειας» με την οποία υπολογίζεται η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου.

Στο παράρτημα V (πίνακας 1, σελ. 243) παρουσιάζονται οι «συνάφειες ερώτησης - συνόλου ερωτήσεων», οι δείκτες Cronbach *α* για το ερωτηματολόγιο αν κάθε ερώτηση παραλειφθεί και, επιπλέον, η μέση τιμή και η διακύμανση της κλίμακας αν κάθε ερώτηση παραλειφθεί. Για το δείγμα της έρευνας ο δείκτης Cronbach *α* για όλο το ερωτηματολόγιο είναι 0,55. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι 9 από τις 15 ερωτήσεις έχουν μέτρια ως υψηλή συνάφεια με το συνολικό άθροισμα και μπορούν να προσφέρουν κατά τα προσδοκώμενα σε αυτό. Οι 5 από τις 15 ερωτήσεις έχουν μικρή συνάφεια,

ενώ παρατηρείται μόνο μία αρνητική συνάφεια που σημαίνει ότι η αντίστοιχη ερώτηση είναι πιθανώς μη έγκυρη. Επίσης, δεν παρατηρούνται πολύ υψηλές συνάφειες. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι περισσότερες ερωτήσεις έχουν σημαντική εγκυρότητα, ενώ υπάρχει και ένας αριθμός ερωτήσεων που χρειάζεται αναθεώρηση.

Προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα του ερωτηματολογίου και κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας απορρίφθηκαν 4 ερωτήσεις, οι οποίες θεωρήθηκαν μη έγκυρες. Έτσι ο δείκτης Cronbach *α* διαμορφώθηκε στην τιμή 0,60 και οι 11 ερωτήσεις που ελήφθησαν υπόψη έχουν μέτρια ως υψηλή συνάφεια με το συνολικό άθροισμά τους όπως προκύπτει από τους δείκτες συνάφειας Pearson (παράρτημα V – πίνακας 2, σελ. 243). Όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω οι μαθητές έχουν πληθώρα εναλλακτικών αντιλήψεων για τις εξεταζόμενες έννοιες και επίσης δεν είναι εξοικειωμένοι με τις ερωτήσεις μετάφρασης ή με το συσχετισμό των τριών επιπέδων της χημείας. Για τους λόγους αυτούς η τιμή του Cronbach *α* θεωρείται αποδεκτή. Παρατηρείται ότι καμία ερώτηση αν παραλειφθεί δεν θα αυξηθεί η τιμή του δείκτη Cronbach *α*. Η καταλληλότητα των ερωτήσεων φαίνεται, επίσης, από τους μέσους όρους του ερωτηματολογίου καθώς αν κάθε ερώτηση παραλειφθεί τότε όλοι είναι μικρότεροι από το μέσο όρο του ερωτηματολογίου με όλες τις ερωτήσεις. Το ίδιο επιβεβαιώνεται και από τη διακύμανση του ερωτηματολογίου αν κάθε ερώτηση παραληφθεί, διότι όλες οι προαναφερόμενες διακυμάνσεις είναι μικρότερες από την ολική διακύμανση του ερωτηματολογίου.

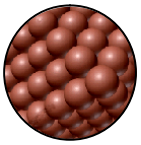
6.4 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στου μαθητές

Από την εφαρμογή των ερωτηματολογίων στους μαθητές προέκυψε ότι με βάση την επίδοσή τους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: Η ομάδα χαμηλής επίδοσης (Χ.Ε.) περιέχει 189 μαθητές, οι οποίοι απάντησαν σωστά σε 1 έως 4 από τις 15 ερωτήσεις. Η ομάδα υψηλής επίδοσης (Υ.Ε.) περιέχει 192 μαθητές, οι οποίοι απάντησαν σωστά σε 6 έως 15 ερωτήσεις. Οι υπόλοιποι 85 μαθητές απάντησαν σωστά 5 ερωτήσεις.

Ακολουθεί περιγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε μία ερώτηση.

6.4.1 Ερώτηση 1

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει την ουσία αυτή;

α)	β)	γ)	δ)
Χρυσός	***Αέριο Φθόριο***	***Ανθρακικό ασβέστιο***	***Υγρό Βρώμιο***

Στην ερώτηση 1 δίνεται η μικροσκοπική αναπαράσταση ενός χημικού στοιχείου σε στερεή κατάσταση και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την αντίστοιχη μακροσκοπική αναπαράσταση. Οι έννοιες που εξετάζονται είναι το «χημικό στοιχείο» και η «στερεή φυσική κατάσταση». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

i) τα χημικά στοιχεία αποτελούνται από ένα είδος ατόμων,

ii) στη στερεή φυσική κατάσταση τα σωματίδια μιας ουσίας βρίσκονται σε πυκνή διάταξη με μεγάλη τάξη.

Στη συγκεκριμένη ερώτηση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι στη μικροσκοπική αναπαράσταση υπάρχει ένα είδος χρωματιστών κύκλων, άρα πρόκειται για χημικό στοιχείο, και η διάταξη των κύκλων είναι πολύ πυκνή με μεγάλη τάξη, άρα πρόκειται για στερεό υλικό.

Το 60,7% των μαθητών επέλεξε τη σωστή απάντηση (α), η οποία εικονίζει δύο κομμάτια από στερεό χρυσό, δηλαδή ένα χημικό στοιχείο σε στερεή κατάσταση. Το 4,9% επέλεξε την απάντηση (β), η οποία εικονίζει ένα φιαλίδιο με αέριο φθόριο. Οι μαθητές αναγνώρισαν ότι το ένα είδος κύκλων αντιστοιχεί

σε ένα χημικό στοιχείο (το φθόριο), αλλά έκαναν λάθος στη φυσική κατάσταση του υλικού επιλέγοντας ένα αέριο. Το 10,7% επέλεξε την απάντηση (γ), η οποία απεικονίζει σκόνη ανθρακικού ασβεστίου. Στην περίπτωση αυτή, οι μαθητές αντιστοίχισαν σωστά την πυκνή διάταξη των κύκλων με τη στερεή κατάσταση, αλλά μετέφρασαν λάθος το ένα είδος κύκλων στο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο είναι χημική ένωση και όχι χημικό στοιχείο. Τέλος, το 23,2% επέλεξε την απάντηση (δ), η οποία απεικονίζει ένα δοχείο με υγρό βρώμιο. Οι μαθητές μετέφρασαν σωστά το ένα είδος κύκλων σε ένα χημικό στοιχείο (το βρώμιο), αλλά έκαναν λάθος στη μετάφραση της πυκνής διάταξης των κύκλων στην υγρή κατάσταση. Συνολικά, το 89,3% των μαθητών επέλεξε ένα χημικό στοιχείο (απαντήσεις α, β και δ), που σημαίνει ότι η πλειοψηφία των μαθητών αναγνωρίζει ότι το ένα είδος κύκλων αντιστοιχεί σε χημικό στοιχείο και όχι σε χημική ένωση. Επίσης, το 71,4% των μαθητών επέλεξε μία στερεή ουσία (απαντήσεις α και γ), δηλαδή αναγνωρίζει ότι η πυκνή διάταξη και η μεγάλη τάξη των κύκλων αντιστοιχεί σε στερεό υλικό.

Η ερώτηση 1 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,61 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,41. Πιο αναλυτικά απάντησε σωστά το 40,2% των μαθητών χαμηλής επίδοσης (Χ.Ε.) και το 80,7% των μαθητών υψηλής επίδοσης (Υ.Ε.).

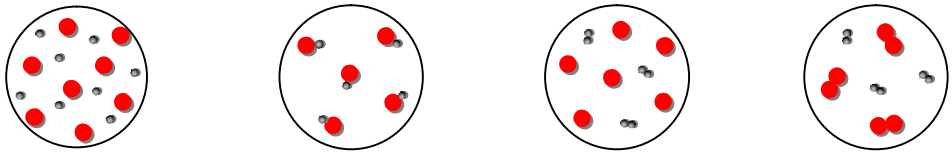
Πίνακας 6.4: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 1.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
1α	**283**	**60,7%**	**76**	**40,2%**	**155**	**80,7%**
1β	23	4,9%	18	9,5%	2	1,0%
1γ	50	10,7%	29	15,3%	10	5,2%
1δ	108	23,2%	66	34,9%	23	12%
Δεν απάντησαν	2	0,4%	0	0,0%	2	1,0%
Σύνολο	466	100,0%	189	100,0%	192	100,0%

6.4.2 Ερώτηση 2

Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τα σωματίδια μιας ουσίας η οποία είναι **αέρια** και έχει **μοριακό τύπο HI**;

α) β) γ) δ)



Στην ερώτηση 2 δίνεται ο μοριακός τύπος μίας ουσίας (Μ.Τ.: HI) και η πληροφορία ότι η ουσία είναι αέρια και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση για τα σωματίδιά της. Στην ερώτηση αυτή εξετάζεται η έννοια της «χημικής ένωσης». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

i) ο Μ.Τ. δείχνει τη σύσταση του κάθε μορίου της ένωσης,

ii) η αέρια φυσική κατάσταση δεν σχετίζεται με τη σύσταση των μορίων, αλλά με τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων της ένωσης.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι ο Μ.Τ. αποτελείται από τα σύμβολα δύο χημικών στοιχείων (Η και Ι) με αναλογία 1:1. Άρα το κάθε μόριο της ένωσης αποτελείται από δύο διαφορετικά άτομα ενωμένα μεταξύ τους και κατά συνέπεια θα απεικονίζεται με δύο διαφορετικούς κύκλους ενωμένους μεταξύ τους.

Τη σωστή απάντηση (β) επέλεξε το 61,8% των μαθητών. Το 17,8% επέλεξε την απάντηση (α), στην οποία εικονίζονται δύο είδη κύκλων που δεν είναι ενωμένοι μεταξύ τους, αλλά απλά συνυπάρχουν. Οι μαθητές αυτοί φαίνεται να έχουν την εναλλακτική αντίληψη ότι τα άτομα μίας ουσίας στην αέρια κατάσταση δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους. Το 13,5% επέλεξε την απάντηση (γ), στην οποία εικονίζονται δύο είδη κύκλων, όπου οι κύκλοι του ενός είδους είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και οι κύκλοι του άλλου είδους είναι ενωμένοι ανά δύο μεταξύ τους. Το 6,9% επέλεξε την απάντηση (δ), στην οποία εικονίζονται επίσης δύο είδη κύκλων, όπου τόσο οι κύκλοι του ενός είδους όσο και του άλλου είναι ενωμένοι μεταξύ τους ανά δύο. Συνολικά, το 38,2%

των μαθητών (απαντήσεις α, γ και δ) έκαναν λάθος στη μετάφραση του Μ.Τ. στο σωστό είδος σωματιδίων.

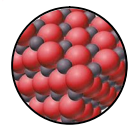
Η ερώτηση 2 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,62 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,44. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά το 39,2% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και το 82,8% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.5: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 2.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
2α	83	17,8%	55	29,1%	17	8,9%
2β	**288**	**61,8%**	**74**	**39,2%**	**159**	**82,8%**
2γ	63	13,5%	43	22,8%	9	4,7
2δ	32	6,9%	17	9,0%	7	3,6%
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	192	100,0%

6.4.3 Ερώτηση 3

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **χημικός τύπος** της ουσίας αυτής;

α) $LiBr_{(s)}$ β) $LiCN_{(s)}$ γ) $LiBr_{(g)}$ δ) $LiCN_{(aq)}$

Η ερώτηση 3 είναι μία μετάφραση από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, δίνεται η μικροσκοπική αναπαράσταση μίας χημικής ένωσης σε στερεή κατάσταση και ζητείται από τους μαθητές να βρουν την αντίστοιχη συμβολική αναπαράσταση. Οι έννοιες που εξετάζονται είναι η «χημική ένωση» και η «στερεή φυσική κατάσταση». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

i) οι χημικές ενώσεις αποτελούνται από τουλάχιστον δύο χημικά στοιχεία και συμβολίζονται με χημικούς τύπους, οι οποίοι δείχνουν την ποιοτική και ποσοτική σύστασή τους,

ii) στη στερεή κατάσταση η διάταξη των σωματιδίων είναι πολύ πυκνή με μεγάλη τάξη και συμβολίζεται με το δείκτη (s) δεξιά από το σύμβολο της ουσίας.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι στην αναπαράσταση υπάρχουν δύο είδη χρωματιστών σφαιρών, άρα η ουσία είναι μία χημική ένωση που αποτελείται από δύο χημικά στοιχεία. Συνεπώς, ο χημικός της τύπος θα αποτελείται από δύο χημικά σύμβολα. Επίσης, οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι η πυκνή διάταξη των κύκλων αντιστοιχεί σε στερεή ουσία, άρα ο χημικός τύπος θα συνοδεύεται δεξιά από το δείκτη (s).

Τη σωστή απάντηση (α) επέλεξε το 42,7% των μαθητών. Το 24,7% επέλεξε την απάντηση (β), δηλαδή συσχέτισαν σωστά την πυκνή διάταξη με το δείκτη (s), αλλά μετέφρασαν λάθος τα δύο είδη σφαιρών σε χημικό τύπο που αποτελείται από τα σύμβολα τριών χημικών στοιχείων (Li, C και N). Οι μαθητές αυτοί φαίνεται να έχουν την εναλλακτική αντίληψη ότι το σύμβολο «CN» αντιστοιχεί σε ένα χημικό στοιχείο. Το 23,0% επέλεξε την απάντηση (γ), δηλαδή μετέφρασαν σωστά τα δύο είδη σφαιρών στα σύμβολα δύο χημικών στοιχείων (Li και Br), αλλά συσχέτισαν λάθος την πυκνή διάταξη με το δείκτη (g), ο οποίος αντιστοιχεί στην αέρια κατάσταση. Τέλος, το 8,6% επέλεξε την απάντηση (δ), δηλαδή μετέφρασε λάθος τα δύο είδη των σφαιρών σε τρία χημικά σύμβολα, αλλά και τη διάταξη των σφαιρών στο δείκτη (aq), ο οποίος αντιστοιχεί στο υδατικό διάλυμα. Συνολικά, το 65,7% των μαθητών (απαντήσεις α και γ) αναγνώρισαν ότι στη μικροσκοπική αναπαράσταση απεικονίζονται δύο είδη σφαιρών και κατά συνέπεια ο χημικός τύπος θα αποτελείται από σύμβολα δύο χημικών στοιχείων (LiBr), ενώ το 33,3% των μαθητών (απαντήσεις β και δ) επέλεξε λανθασμένο χημικό τύπο που περιέχει σύμβολα τριών χημικών στοιχείων (LiCN). Επίσης, το 67,4% των μαθητών (απαντήσεις α και β) μετέφρασαν την πυκνή διάταξη των σωματιδίων στο δείκτη (s) της στερεής φυσικής κατάστασης.

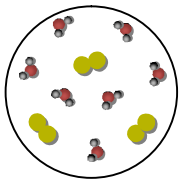
Η ερώτηση 3 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,43 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,36. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά το 25,9% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και το 61,5% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.6: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 3.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
3α	**199**	**42,7%**	**49**	**25,9%**	**118**	**61,5%**
3β	115	24,7%	47	24,9%	40	20,8%
3γ	107	23,0%	62	32,8%	21	10,9%
3δ	40	8,6%	31	16,4%	8	4,2%
Δεν απάντησαν	5	1,1%	0	0,0%	5	2,6%
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	192	100,0%

6.4.4 Ερώτηση 4

Δίνεται το σχήμα:



Ποια από τις παρακάτω φωτογραφίες αντιστοιχεί στο σχήμα αυτό;

α)

Ατμοί Ιωδίου (Αέριο Ιώδιο)

β)

Διάλυμα Βρωμίου

γ)

Μίγμα Θείου-Σιδήρου

δ)

Θειικός Σίδηρος

Στην ερώτηση 4 εξετάζεται η μετάφραση ενός διαλύματος από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο. Δίνεται η αναπαράσταση των σωματιδίων για το διάλυμα ενός χημικού στοιχείου και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την αντίστοιχη φωτογραφία. Η έννοια που εξετάζεται είναι το «υδατικό διάλυμα». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι τα διαλύματα αποτελούνται από δύο ή περισσότερες ουσίες (χημικά στοιχεία ή χημικές ενώσεις), των οποίων τα σωματίδια είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μεταξύ τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι:

i) απεικονίζονται δύο είδη μορίων, άρα πρόκειται για μίγμα και όχι για καθαρή ουσία,

ii) τα δύο είδη μορίων είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μεταξύ τους, άρα πρόκειται για ομογενές μίγμα, δηλαδή για διάλυμα,

iii) το ένα συστατικό του μίγματος είναι χημική ένωση διότι η μία ομάδα ενωμένων κύκλων αποτελείται από διαφορετικά είδη κύκλων (κόκκινοι και γκρι) και το άλλο συστατικό είναι χημικό στοιχείο διότι η άλλη ομάδα ενωμένων κύκλων αποτελείται από ένα είδος κύκλων (κίτρινοι).

Το 29,4% των μαθητών επέλεξε τη σωστή απάντηση (β), η οποία απεικονίζει το διάλυμα ενός χημικού στοιχείου (διάλυμα βρωμίου). Το 7,9% επέλεξε την απάντηση (α), η οποία απεικονίζει ένα καθαρό χημικό στοιχείο (ιώδιο). Το λάθος αυτών των μαθητών είναι ότι μετέφρασαν τα δύο διαφορετικές ομάδες ενωμένων κύκλων (και) σε ένα μόνο υλικό, το ιώδιο. Το 51,3% επέλεξε την απάντηση (γ), η οποία απεικονίζει ένα ετερογενές μίγμα χημικών στοιχείων (θείο και σίδηρος). Στην περίπτωση αυτή οι μαθητές μετέφρασαν σωστά τις δύο ομάδες ενωμένων κύκλων σε δύο υλικά (θείο και σίδηρος), αλλά τα λάθη που έκαναν είναι τα εξής: 1) Και τα δύο υλικά είναι χημικά στοιχεία. 2) Το μίγμα θείου – σιδήρου είναι ετερογενές και κατά συνέπεια τα σωματίδια των δύο συστατικών δεν θα έπρεπε να είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μεταξύ τους. Τέλος, το 10,5% επέλεξε την απάντηση (δ), η οποία εικονίζει μία καθαρή χημική ένωση (θειικός σίδηρος). Συνεπώς, το λάθος που έκαναν οι μαθητές είναι ότι μετέφρασαν τις δύο ομάδες ενωμένων κύκλων σε ένα μόνο υλικό.

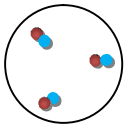
Η ερώτηση 4 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,29 και Δείκτης Διακρισιμότητας=0,24. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά το 17,5% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και το 42,2% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.7: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 4.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
4α	37	7,9%	15	7,9%	15	7,8%
4β	**137**	**29,4%**	**33**	**17,5%**	**81**	**42,2%**
4γ	239	51,3%	118	62,4%	75	39,1%
4δ	49	10,5%	23	12,2%	20	10,4%
Δεν απάντησαν	4	0,9%	0	0,0%	1	0,5%
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	192	100,0%

6.4.5 Ερώτηση 5

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **μοριακός τύπος** της ουσίας αυτής;

α) NO β) $(NO)_3$ γ) N_3O_3 δ) 3 NO

Στην ερώτηση 5 δίνεται η μικροσκοπική αναπαράσταση για τα σωματίδια μιας ουσίας και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν το σωστό μοριακό τύπο (Μ.Τ.) για την ουσία αυτή. Η ερώτηση εξετάζει την έννοια της «χημικής ένωσης». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι ο Μ.Τ. δείχνει την ποιοτική και ποσοτική σύσταση μίας ένωσης και συγκεκριμένα στην περίπτωση που η ουσία είναι μοριακή ο Μ.Τ. δείχνει τη σύσταση του κάθε μορίου της. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι στην αναπαράσταση απεικονίζονται τρεις ομάδες ενωμένων κύκλων (●●), δηλαδή τρία μόρια της ουσίας, και το καθένα από αυτά αποτελείται από δύο κύκλους διαφορετικού χρώματος. Συνεπώς, ο Μ.Τ. της ουσίας θα αποτελείται από τα σύμβολα δύο χημικών στοιχείων με αναλογία 1:1.

Τη σωστή απάντηση (α) επέλεξε μόνο το 14,2% των μαθητών. Το 31,8% των μαθητών επέλεξε την απάντηση (β) θεωρώντας ότι ο Μ.Τ. της ένωσης περιλαμβάνει μία παρένθεση έξω από την οποία απεικονίζεται ο αριθμός των εικονιζόμενων μορίων. Το 25,1% επέλεξε την απάντηση (γ) θεωρώντας ότι στο Μ.Τ. και δεξιά από το σύμβολο κάθε στοιχείου απεικονίζεται ο αριθμός των ατόμων σε όλα τα εικονιζόμενα μόρια. Το 28,1% επέλεξε την απάντηση (δ) θεωρώντας ότι ο Μ.Τ. περιλαμβάνει ένα συντελεστή που δηλώνει τον αριθμό των εικονιζόμενων μορίων. Συνολικά, το 85,8% των μαθητών (απαντήσεις β, γ και δ) έκανε λάθος στην επιλογή του Μ.Τ., το οποίο δείχνει ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν πολλά προβλήματα στην ερμηνεία των Μ.Τ.

Η ερώτηση 5 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,14 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,18. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά το 6,3% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και το 24,0% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.8: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 5.

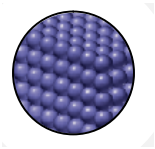
Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
5α	**66**	**14,2%**	**12**	**6,3%**	**46**	**24,0%**
5β	148	31,8%	56	29,6%	56	29,2%
5γ	117	25,1%	64	33,9%	35	18,2%
5δ	131	28,1%	54	28,6%	55	28,6%
Δεν απάντησαν	4	0,9%	3	1,6%	0	0,0%
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	192	100,0%

6.4.6 Ερώτηση 6

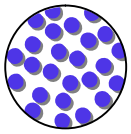
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα κομμάτι **μεταλλικού νατρίου**:

Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τη δομή των σωματιδίων στην ουσία αυτή;

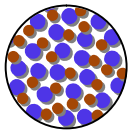
α)



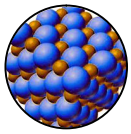
β)



γ)



δ)



Η ερώτηση 6 είναι η μετάφραση ενός χημικού στοιχείου από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο. Δίνεται η φωτογραφία ενός τμήματος στερεού μεταλλικού νατρίου και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση των σωματιδίων του. Στην ερώτηση αυτή εξετάζονται οι έννοιες του «χημικού στοιχείου» και της «στερεής φυσικής κατάστασης». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

i) το μεταλλικό νάτριο είναι ένα καθαρό χημικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από ένα είδος ατόμων,

ii) στη στερεή φυσική κατάσταση η διάταξη των σωματιδίων είναι πυκνή με μεγάλη τάξη.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν: 1) ότι το μεταλλικό νάτριο θα απεικονίζονται με ένα είδος κύκλων και 2) ότι πρόκειται για στερεό υλικό, άρα η διάταξη των σωματιδίων του θα είναι πυκνή με μεγάλη τάξη.

Τη σωστή απάντηση (α) επέλεξε το 51,9% των μαθητών. Το 3,6% επέλεξε την απάντηση (β), η οποία απεικονίζει ένα είδος κύκλων, αλλά το λάθος είναι ότι η διάταξη των κύκλων δεν είναι πυκνή και με μεγάλη τάξη. Το 8,8% επέλεξε την απάντηση (γ), όπου οι μαθητές μετέφρασαν λάθος τόσο το νάτριο σε δύο είδη κύκλων, όσο και τη στερεή κατάσταση σε διάταξη σωματιδίων η οποία δεν είναι πυκνή και δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλη τάξη. Τέλος, το 35,4% επέλεξε την απάντηση (δ), όπου οι μαθητές μετέφρασαν σωστά τη στερεή κατάσταση στην αντίστοιχη διάταξη των σωματιδίων, αλλά έκαναν λάθος στο ότι μετέφρασαν το νάτριο σε δύο είδη κύκλων. Συνολικά, το 55,5% επέλεξε μικροσκοπική αναπαράσταση η οποία αποτελείται από ένα είδος κύκλων (απαντήσεις α και β), σε αντίθεση με το 44,5% (απαντήσεις γ και δ) που μετέφρασε λάθος το χημικό στοιχείο σε δύο είδη κύκλων. Αντίστοιχα το 87,3% των μαθητών (απαντήσεις α και δ) επέλεξε πυκνή διάταξη σωματιδίων που πράγματι αντιστοιχεί στη στερεή κατάσταση, ενώ το 12,7% μετέφρασε λανθασμένα τη στερεή φυσική κατάσταση σε διάταξη σωματιδίων που δεν είναι πυκνή και δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλη τάξη.

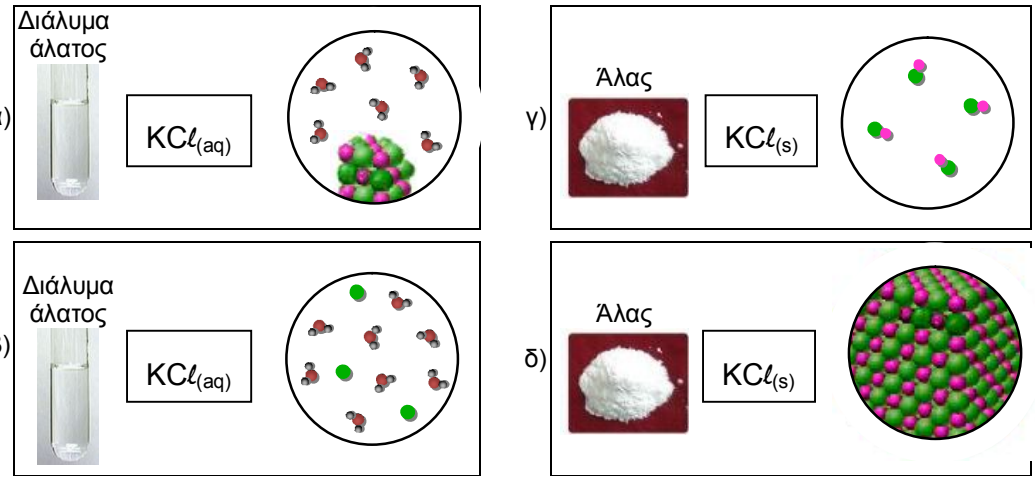
Η ερώτηση 6 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,52 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,39. Πιο αναλυτικά απάντησε σωστά το 33,3% της ομάδας χαμηλής επίδοσης και το 72,4% της ομάδας υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.9: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 6.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
6α	**242**	**51,9%**	**63**	**33,3%**	**139**	**72,4%**
6β	17	3,6%	14	7,4%	3	1,6%
6γ	41	8,8%	23	12,2%	7	3,6%
6δ	165	35,4%	88	46,6%	43	22,4%
Δεν απάντησαν	1	0,2%	1	0,5%	0	0,0%
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	192	100,0%

6.4.7 Ερώτηση 7

Σε ποια από τις παρακάτω τριάδες η φωτογραφία, ο χημικός τύπος και το σχέδιο των σωματιδίων απεικονίζουν την ίδια ουσία;



Στην ερώτηση 7 συσχετίζονται και τα τρία επίπεδα της χημείας μεταξύ τους. Ζητείται από τους μαθητές να διαλέξουν μία τριάδα αναπαραστάσεων (φωτογραφία, χημικός τύπος και αναπαράσταση σωματιδίων) που να απεικονίζουν το ίδιο υλικό. Οι δύο από τις τέσσερις εναλλακτικές απαντήσεις αναφέρονται σε ένα στερεό άλας και οι άλλες δύο σε ένα υδατικό διάλυμα άλατος. Συνεπώς οι έννοιες που εξετάζονται είναι η «στερεή φυσική κατάσταση» και το «υδατικό διάλυμα άλατος». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

i) η στερεή φυσική κατάσταση συμβολίζεται με το δείκτη (s) και τα σωματίδια έχουν πυκνή διάταξη με μεγάλη τάξη,

ii) το υδατικό διάλυμα συμβολίζεται με το δείκτη (aq) και από τη διάλυση ενός άλατος προκύπτουν δύο είδη σωματιδίων διαλυμένα στο νερό.

Το 53,4% των μαθητών επέλεξε τη σωστή απάντηση (δ). Το 16,3% επέλεξε την απάντηση (γ), όπου έκανε λάθος στη διάταξη των σωματιδίων. Το 13,5% των μαθητών επέλεξε την απάντηση (α), όπου έκανε λάθος στη μικροσκοπική αναπαράσταση, διότι τα εικονιζόμενα σωματίδια δεν είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μεταξύ τους. Το 26,6% επέλεξε την απάντηση (β), όπου το λάθος είναι ότι στη μικροσκοπική αναπαράσταση εικονίζονται κύκλοι ενός

μόνο είδους (●) να είναι αναμεμιγμένοι με τις ομάδες των ενωμένων κύκλων (●●) που αντιστοιχούν στα σωματίδια του διαλύτη.

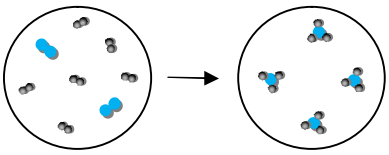
Η ερώτηση 7 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,53 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,36. Το 34,9% της ομάδας χαμηλής επίδοσης απάντησε σωστά και αντίστοιχα το 70,8% της ομάδας υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.10: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 7.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
7α	63	13,5%	33	17,5%	21	10,9%
7β	124	26,6%	67	35,4%	33	17,2%
7γ	76	16,3%	40	21,2%	19	9,9%
7δ	**249**	**53,4%**	**66**	**34,9%**	**136**	**70,8%**
Σύνολο	512[3]	109,8	206	100,0%	209	100,0%

6.4.8 Ερώτηση 8

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την αντίδραση μεταξύ του αζώτου και του υδρογόνου:



Δίνονται οι συμβολισμοί:

●: άτομο υδρογόνου (H)

●: άτομο αζώτου (N)

Στο παρακάτω πλαίσιο να γράψετε τη **χημική εξίσωση** της αντίδρασης αυτής:

Η ερώτηση 8 εξετάζει τη μετάφραση μίας χημικής αντίδρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο. Πρόκειται για μία ερώτηση ανοικτού τύπου, στην οποία δίνεται η αναπαράσταση των σωματιδίων για το μίγμα των αντιδρώντων και για το μίγμα των προϊόντων και ζητείται από τους μαθητές να γράψουν την αντίστοιχη χημική εξίσωση. Στους μαθητές δίνεται η ερμηνεία και ο συμβολισμός για το κάθε σωματίδιο που χρησιμοποιείται στην αναπαράσταση. Σε αυτή την ερώτηση εξετάζεται η έννοια της «χημικής αντίδρασης». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

[3] Μερικοί μαθητές έδωσαν δύο απαντήσεις.

i) οι χημικές εξισώσεις αποτελούνται από δύο μέρη τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με ένα βέλος,

ii) στο 1^{ο} μέρος αναγράφονται οι Μ.Τ. των αντιδρώντων και στο 2^{ο} οι Μ.Τ. των προϊόντων,

iii) η αναλογία των μορίων των αντιδρώντων και των προϊόντων συμβολίζεται με τη χρησιμοποίηση συντελεστών πριν από τους Μ.Τ.

Επειδή η ερώτηση 8 είναι ανοιχτού τύπου απαιτείται η κωδικοποίηση των απαντήσεων των μαθητών, η οποία έγινε χρησιμοποιώντας ως κριτήρια: α) τη σωστή αναγραφή των Μ.Τ. των αντιδρώντων και των προϊόντων, β) τη διατήρηση της μάζας μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων μέσω της χρησιμοποίησης κατάλληλων συντελεστών. Από την κωδικοποίηση προέκυψαν εννέα κατηγορίες στις οποίες δόθηκε από ένας τριψήφιος κωδικός. Το πρώτο ψηφίο του κωδικού αναφέρεται στους Μ.Τ. των αντιδρώντων και παίρνει την τιμή 1 εάν αυτοί είναι λάθος και την τιμή 2 εάν είναι σωστοί. Το δεύτερο ψηφίο αναφέρεται στο Μ.Τ. του προϊόντος και παίρνει την τιμή 1 εάν αυτός είναι λάθος και την τιμή 2 εάν είναι σωστός. Το τρίτο ψηφίο αφορά τη διατήρηση της μάζας και παίρνει την τιμή 1 εάν τηρείται η ισοστάθμιση της μάζας μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων και την τιμή 2 εάν δεν τηρείται (Πίνακας 6.11).

Πίνακας 6.11: Κωδικοποίηση των απαντήσεων στην ερώτηση 8.

Κωδικοποίηση	Μ.Τ. αντιδρώντων	Μ.Τ. προϊόντος	Ισοστάθμιση Μάζας	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
111	×	×	×	34	7,3%
112	×	×	✓	19	4,1%
121	×	✓	×	11	2,4%
122	×	✓	✓	32	6,9%
211	✓	×	×	21	4,5%
212	✓	×	✓	20	4,3%
221	✓	✓	×	16	3,4%
222	✓	✓	✓	98	21,0%
0	Δεν έγραψαν χημική εξίσωση			215	46,1%
Σύνολο				466	100,0%

Μια σωστή χημική εξίσωση (κωδικός 222) ήταν σε θέση να γράψει μόνο το 21,0% των μαθητών. Εντυπωσιακό είναι το εύρημα ότι 46,3% των μαθητών δεν έγραψαν καμία χημική εξίσωση, αλλά είτε άφησαν την απάντηση κενή, είτε έγραψαν μόνο ένα Μ.Τ. (κωδικός 0). Το 7,3% έγραψε κάποια χημική

εξίσωση, αλλά με λάθος Μ.Τ. και χωρίς ισοστάθμιση μάζας (κωδικός 111). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 15,3% των μαθητών παρόλο που δεν έγραψαν σωστά όλους τους Μ.Τ., χρησιμοποίησαν κατάλληλους συντελεστές για να ισοσταθμίσουν τη μάζα μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων (κωδικοί 112, 122 και 212) (Πίνακας 6.12).

Η ερώτηση 8 βρέθηκε ότι έχει Δείκτης Δυσκολίας=0,21 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,35. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά μόνο το 4,7% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και το 40,1% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.12: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 8.

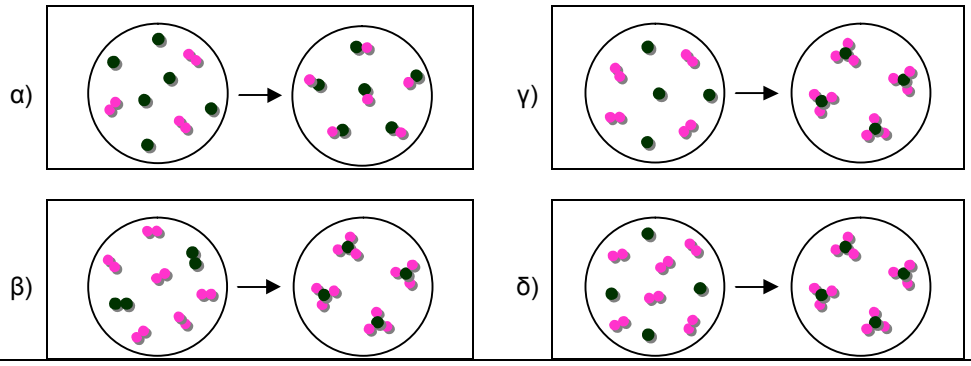
Απάντηση	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
111	34	7,3%	21	11,1%	7	3,6%
112	19	4,1%	10	5,3%	7	3,6%
121	11	2,4%	4	2,1%	4	2,1%
122	32	6,9%	10	5,3%	14	7,3%
211	21	4,5%	9	4,8%	9	4,7%
212	20	4,3%	7	3,7%	10	5,2%
221	16	3,4%	2	1,1	6	3,1%
222	**98**	**21,0%**	**9**	**4,7%**	**77**	**40,1%**
Δεν απάντησαν	215	46,1%	117	61,9%	58	30,2%
Σύνολο	466	100,0%	189	100,0%	192	100,0%

6.4.9 Ερώτηση 11

Η αντίδραση του αντιμονίου με το χλώριο συμβολίζεται με τη χημική εξίσωση:

$$2\ Sb + 3\ C\ell_2 \rightarrow 2\ SbC\ell_3$$

Ποια από τα παρακάτω σχήματα α, β, γ ή δ απεικονίζει την αντίδραση αυτή;



Στην ερώτηση 11 δίνεται μία χημική εξίσωση και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση για τα σωματίδια των

αντιδρώντων και των προϊόντων. Να σημειώσουμε ότι η έννοια που επιδιώκουμε να εξετάσουμε είναι η «χημική αντίδραση» και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε μία κατά σύμβαση απλοποιημένη χημική εξίσωση στην οποία δεν δίνονται οι φυσικές καταστάσεις των ουσιών ώστε να μην υπεισέλθει επιπλέον η έννοια της «φυσικής κατάστασης» στην ερώτηση. Άλλωστε, τέτοιου είδους απλοποιημένες χημικές εξισώσεις περιέχονται στα σχολικά εγχειρίδια και η ερώτηση είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε η φυσική κατάσταση των ουσιών να μην παίζει ρόλο στην απάντηση. Οι μαθητές θα πρέπει:

i) να μεταφράσουν το Μ.Τ. του κάθε αντιδρώντος και προϊόντος στο αντίστοιχο σωματίδιο,

ii) να μεταφράσουν τους συντελεστές στην αντίστοιχη αναλογία σωματιδίων.

Τη σωστή απάντηση (δ) επέλεξε το 32,0% των μαθητών. Το 11,8% επέλεξε την απάντηση (α), στην οποία οι μαθητές μετέφρασαν σωστά τα σύμβολα των αντιδρώντων στα αντίστοιχα σωματίδια, αλλά έκαναν λάθος στη μετάφραση του προϊόντος. Ωστόσο, η ισοστάθμιση της μάζας τηρείται, διότι ο αριθμός των πράσινων και των ροζ κύκλων είναι ίδιος στα αντιδρώντα και στα προϊόντα. Το 39,3% επέλεξε την απάντηση (β), στην οποία είναι σωστές οι μεταφράσεις των συμβόλων του ενός αντιδρώντος (Cl_2) και του προϊόντος ($SbCl_3$) στα αντίστοιχα σωματίδια, αλλά είναι λάθος η μετάφραση του συμβόλου του άλλου αντιδρώντος (Sb). Επίσης, η ισοστάθμιση της μάζας είναι σωστή. Τέλος, το 17,6% των μαθητών επέλεξε την απάντηση (γ), όπου έκαναν σωστά τη μετάφραση των συμβόλων των αντιδρώντων (Sb και Cl_2) και του προϊόντος ($SbCl_3$) στα αντίστοιχα σωματίδια, αλλά έκαναν λάθος στην ισοστάθμιση της μάζας. Στα αντιδρώντα εικονίζονται 8 ροζ κυκλάκια, ενώ στα προϊόντα εικονίζονται 12. Συνολικά το 51,1% των μαθητών επέλεξε τις απαντήσεις α και β στις οποίες παρόλο που είναι λάθος η μετάφραση κάποιων Μ.Τ. τηρείται η ισοστάθμιση της μάζας ανάμεσα στα αντιδρώντα και στα προϊόντα. Συμπεριλαμβάνοντας και τους μαθητές που έκαναν σωστά όλες τις μεταφράσεις των Μ.Τ. (απάντηση δ) το παραπάνω ποσοστό ανέρχεται στο 83,1% (πίνακας 6.13).

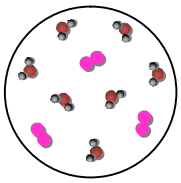
Η ερώτηση 11 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,32 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,41. Συγκεκριμένα, απάντησε σωστά το 13,2% και το 54,2% των μαθητών χαμηλής και επίδοσης αντίστοιχα.

Πίνακας 6.13: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 11.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
11α	55	11,8%	28	14,8%	19	9,9%
11β	183	39,3%	86	45,5%	59	30,7%
11γ	82	17,6%	50	26,5%	13	6,8%
11δ	**149**	**32,0%**	**25**	**13,2%**	**104**	**54,2%**
Δεν απάντησαν	2	0,4%	0	0%	0	0%
Σύνολο	471[4]	100,0	189	100,0%	195	100,0%

6.4.10 Ερώτηση 13

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια ενός **υδατικού** διαλύματος:



Δίνονται οι συμβολισμοί:

: άτομο υδρογόνου

: άτομο οξυγόνου

: άτομο χλωρίου

Πως συμβολίζεται το διάλυμα αυτό;

α) $C\ell_{2(\ell)}$ β) $C\ell_{2(aq)}$ γ) $C\ell_2H_2O_{(aq)}$ δ) $C\ell_2$ και H_2O

Η ερώτηση 13 εξετάζει τη μετάφραση ενός υδατικού διαλύματος από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο. Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι τα υδατικά διαλύματα συμβολίζονται με το Μ.Τ. της διαλυμένης ουσίας και το δείκτη (aq) δεξιά από αυτόν. Στη συγκεκριμένη ερώτηση οι μαθητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι:

i) απεικονίζονται δύο είδη ομάδων ενωμένων κύκλων (και), δηλαδή δύο είδη μορίων και κατά συνέπεια πρόκειται για μίγμα και όχι για καθαρή ουσία,

ii) η εκφώνηση αναφέρει ότι πρόκειται για «υδατικό διάλυμα», άρα το ένα συστατικό του μίγματος θα είναι το νερό,

[4] Μερικοί μαθητές έδωσαν δύο απαντήσεις.

iii) η ομάδα των ενωμένων κύκλων που αποτελείται από δύο γκρι κύκλους (άτομα υδρογόνου) και έναν κόκκινο κύκλο (άτομο οξυγόνου) αντιστοιχεί στο νερό,

iv) ο συμβολισμός για τα υδατικά διαλύματα είναι ο δείκτης (aq) δεξιά του Μ.Τ., ο οποίος εμπεριέχει την πληροφορία ότι υπάρχουν μόρια νερού στο διάλυμα χωρίς να αναγράφεται ο Μ.Τ. του νερού.

Το 19,7% των μαθητών επέλεξε τη σωστή απάντηση (β). Το 6,2% επέλεξε την απάντηση (α), στην οποία είναι σωστός ο Μ.Τ. (Cl_2), αλλά είναι λάθος ο δείκτης (ℓ), διότι αντιστοιχεί στην υγρή φυσική κατάσταση μια καθαρής ουσίας. Το 46,4% επέλεξε την απάντηση (γ) στην οποία είναι σωστός ο δείκτης (aq), ωστόσο το λάθος είναι ότι ο Μ.Τ. δεν αντιστοιχεί μόνο στη διαλυμένη ουσία, αλλά περιλαμβάνει και το συμβολισμό του νερού. Τέλος, το 26,4% επέλεξε την απάντηση (δ) στην οποία τα λάθη είναι ότι στο Μ.Τ. αναγράφονται οι συμβολισμοί τόσο του νερού (H_2O) όσο και της διαλυμένης ουσίας (Cl_2) και δεν αναγράφεται ο δείκτης (aq) του υδατικού διαλύματος (πίνακας 6.14).

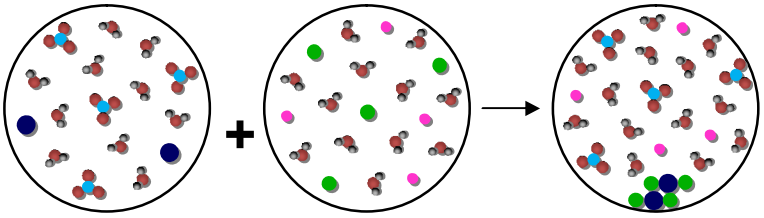
Η ερώτηση 13 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,20 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,27. Αναλυτικά μόνο το 6,9% των μαθητών χαμηλής επίδοσης απάντησε σωστά και το 33,9% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.14: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 13.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
13α	29	6,2%	12	6,3%	12	6,3%
13β	**92**	**19,7%**	**13**	**6,9%**	**65**	**33,9%**
13γ	216	46,4%	112	59,3%	66	34,4%
13δ	123	26,4%	46	24,3%	50	26,0%
Δεν απάντησαν	9	1,9%	6	3,2%		
Σύνολο	466	100,0	189	100,0%	193	100,0%

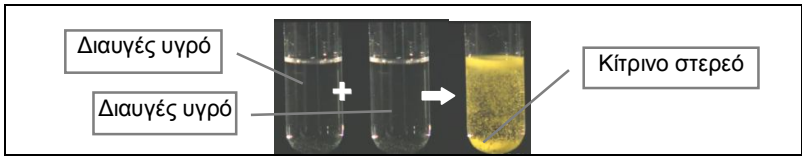
6.4.11 Ερώτηση 15

Δίνεται το σχήμα:

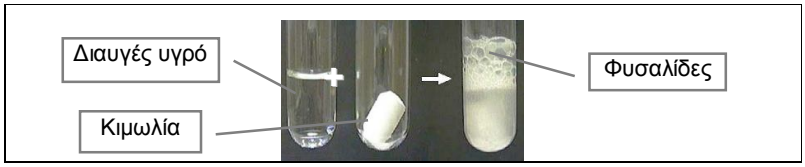


Ποια από τις παρακάτω αντιδράσεις αντιστοιχεί στο σχήμα αυτό;

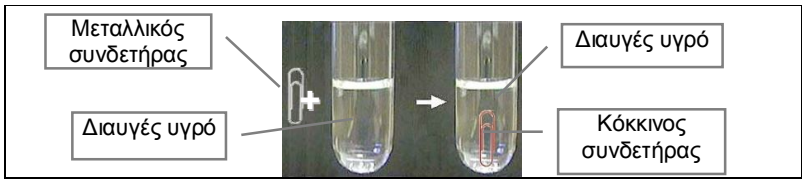
α)



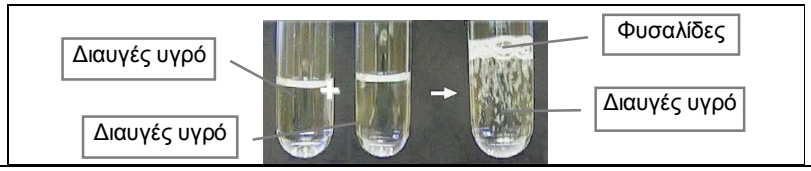
β)



γ)



δ)



Η ερώτηση 15 εξετάζει τη μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο για μία χημική αντίδραση[5]. Στην ερώτηση δίνονται οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις για τα δύο αντιδρώντα και για το τελικό μίγμα της αντίδρασης και οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν την αντίστοιχη φωτογραφία. Τα χαρακτηριστικά τα οποία θα πρέπει να αναγνωρίσουν οι μαθητές είναι τα εξής:

i) οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις των αντιδρώντων και του προϊόντος απεικονίζουν διαφορετικά είδη κύκλων ενωμένων ή μη ενωμένων μεταξύ τους, οι οποίοι είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένοι, γεγονός που δείχνει ότι απεικονίζουν ομογενή μίγματα, δηλαδή διαλύματα,

[5] Πρόκειται για την αντίδραση ανάμεσα στο υδατικό διάλυμα νιτρικού μολύβδου (ΙΙ) και το υδατικό διάλυμα ιωδιούχου καλίου.

ii) στη μικροσκοπική αναπαράσταση του προϊόντος κάποιοι από τους κύκλους σχηματίζουν ένα συσσωμάτωμα στο οποίο η διάταξη είναι πυκνή και υπάρχει μεγάλη τάξη. Συνεπώς, πρόκειται για μία στερεή ουσία η οποία σχηματίζεται από την αντίδραση.

Το 32,4% των μαθητών επέλεξε την σωστή απάντηση (α), στην οποία τα αντιδρώντα και το προϊόν είναι διαλύματα και επίσης το τελικό διάλυμα περιέχει μία στερεή ουσία (κίτρινο στερεό). Το 26,4% των μαθητών επέλεξε την απάντηση (β), στην οποία το ένα αντιδρών και το προϊόν είναι διαλύματα. Ωστόσο, τα λάθη είναι ότι το άλλο αντιδρών είναι μία στερεή ουσία (κιμωλία) και όχι ένα διάλυμα, ενώ το τελικό διάλυμα δεν περιέχει στερεή ουσία. Το 20,6% επέλεξε την απάντηση (γ), στην οποία το ένα αντιδρών και το προϊόν είναι διαλύματα και επίσης το τελικό διάλυμα περιέχει στερεή ουσία (κόκκινος συνδετήρας). Ωστόσο το λάθος είναι ότι το άλλο αντιδρών είναι ένα στερεό υλικό (μεταλλικός συνδετήρας) και όχι ένα υδατικό διάλυμα. Τέλος, το 21,0% επέλεξε την απάντηση (δ) στην οποία τα δύο αντιδρώντα και το προϊόν είναι διαλύματα, αλλά το λάθος είναι ότι το προϊόν δεν περιέχει κάποια στερεή ουσία (πίνακας 6.15).

Η ερώτηση 15 βρέθηκε ότι έχει Δείκτη Δυσκολίας=0,32 και Δείκτη Διακρισιμότητας=0,39. Αναλυτικά, απάντησε σωστά το 14,8% των μαθητών χαμηλής επίδοσης και αντίστοιχα το 54,2% των μαθητών υψηλής επίδοσης.

Πίνακας 6.15: Κατανομή συχνότητας για την ερώτηση 15.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
15α	**151**	**32,4%**	**28**	**14,8%**	**104**	**54,2%**
15β	123	26,4%	68	36,0%	28	14,6%
15γ	96	20,6%	38	20,1%	37	19,3%
15δ	98	21,0%	52	27,5%	27	14,1%
Δεν απάντησαν	4	0,9%	3	1,6%		
Σύνολο	466[6]	100,0	189	100,0%	196	100,0%

[6] Μερικοί μαθητές έδωσαν δύο απαντήσεις.

6.5 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές για κάθε εξεταζόμενη έννοια

6.5.1 Για την έννοια του «χημικού στοιχείου»

Η έννοια του χημικού στοιχείου εξετάζεται στις ερωτήσεις 1 και 6. Η ερώτηση 1 είναι μία μετάφραση «μικρο→μακρο», ενώ η ερώτηση 6 είναι μια αντίστροφη μετάφραση «μακρο→μικρο». Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειοψηφία των μαθητών (89,3%) μετέφρασε επιτυχώς τη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός χημικού στοιχείου σε μία αντίστοιχη μακροσκοπική, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά ανάμεσα στους μαθητές χαμηλής και υψηλής επίδοσης (84,6% και 93,7% αντίστοιχα). Ωστόσο, στην αντίστροφη μετάφραση τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Περίπου οι μισοί μαθητές (55,5%) είχαν επιτυχία, ενώ υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ των ομάδων χαμηλής και υψηλής επίδοσης (40,7% και 70,4% αντίστοιχα) (πίνακας 6.16).

Πίνακας 6.16: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις του «χημικού στοιχείου».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Μαθητών	Ποσοστό Μαθητών Χ.Ε.	Ποσοστό Μαθητών Υ.Ε.
1α + 1β + 1δ	μικρο → μακρο	89,3%	84,6%	93,7%
6α + 6β	μακρό → μικρο	55,5%	40,7%	74,0%

Οι αναλύσεις διασταύρωσης (cross tabulation) έδειξαν ότι και τις δύο μεταφράσεις πέτυχε το 49,6% των μαθητών. Από τους μαθητές που πέτυχαν τη μετάφραση «μικρο→μακρο» μόνο το 55,8% πέτυχε και την αντίστροφη μετάφραση, ενώ από αυτούς που πέτυχαν τη μετάφραση «μακρο→μικρο» το 89,2% πέτυχε και την αντίστροφη. Επίσης, από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων 1α και 6α (Kendall's tau_b: 0,159**[7]).

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι μαθητές αποκαλύπτουν τις παρακάτω εναλλακτικές αντιλήψεις ή προβλήματα: α) Το 10,7% των μαθητών (15,3% της ομάδας Χ.Ε. και 5,2% της ομάδας Υ.Ε.) αντιστοιχίζουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση μίας ουσίας που αποτελείται από ένα είδος

[7] Ο εκθέτης «**» αντιστοιχεί σε συσχετισμό ο οποίος είναι σημαντικός σε επίπεδο 0,01.

σφαιρών σε ένα λευκό στερεό με μορφή σκόνης (ανθρακικό ασβέστιο). β) Το 44,2% των μαθητών (58,8% της ομάδας Χ.Ε. και το 26,0% της ομάδας Υ.Ε.) αντιστοιχίζουν το στερεό μεταλλικό νάτριο με μικροσκοπική αναπαράσταση που αποτελείται από δύο είδη σφαιρών. Δηλαδή, από τις αναπαραστάσεις δεν φαίνεται να έχουν την επιστημονική αντίληψη για τη χημική σύσταση (ένα είδος σωματιδίων) των χημικών στοιχείων.

6.5.2 Για την έννοια της «χημικής ένωσης»

Η έννοια της χημικής ένωσης εξετάζεται στις ερωτήσεις 2, 3 και 5. Η ερώτηση 2 είναι μία μετάφραση «συμβο→μικρο» για μία αέρια μοριακή ένωση, η ερώτηση 5 είναι μία αντίστροφη μετάφραση «μικρο→συμβο» για μία μοριακή ένωση και η ερώτηση 3 είναι μία μετάφραση «μικρο→συμβο» για μία ιοντική ένωση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 61,8% των μαθητών μετέφρασε επιτυχώς το Μ.Τ. μίας αέριας μοριακής ένωσης στο αντίστοιχο είδος μορίων, με σημαντική διαφορά να παρατηρείται μεταξύ των ομάδων Χ.Ε. (39,2%) και Υ.Ε. (82,8%). Αντίθετα τη μετάφραση της αναπαράστασης μερικών μορίων μίας ουσίας στον αντίστοιχο Μ.Τ., πέτυχε μόνο το 14,2% των μαθητών (6,3% της ομάδας Χ.Ε. και 24,0% της ομάδας Υ.Ε.). Το ποσοστό επιτυχίας στη μετάφραση της μικροσκοπικής αναπαράστασης ενός κρυσταλλικού πλέγματος στον αντίστοιχο Μ.Τ. ανέρχεται στο 65,7% (58,8% της ομάδας Χ.Ε. και 72,4% της ομάδας Υ.Ε.) (πίνακας 6.17).

Πίνακας 6.17: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «χημικής ένωσης».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Μαθητών
2β	συμβο → μικρο (μεταφράζουν το Μ.Τ. στο σωστό είδος μορίου)	61,8%
3α + 3γ	μικρο → συμβο (μεταφράζουν το κρυσταλλικό πλέγμα στο σωστό Μ.Τ.)	65,7%
5α	μικρο → συμβο (μεταφράζουν το είδος μορίου στο σωστό Μ.Τ.)	14,2%

Στον πίνακα 6.18 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών που πέτυχαν περισσότερες από μία μεταφράσεις, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις διασταύρωσης. Και τις δύο μεταφράσεις («συμβο→μικρο» και

«μικρο→συμβο») για μία μοριακή ένωση πέτυχε το 9,0% των μαθητών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μόνο το 63,6% των μαθητών που πέτυχαν τη δύσκολη μετάφραση «μικρο→συμβο» μπορούσαν να πετύχουν και την πολύ πιο εύκολη «συμβο→μικρο». Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα για τις δύο μεταφράσεις από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο για μία μοριακή και μία ιοντική ένωση αντίστοιχα, οι οποίες επιτεύχθηκαν από το 8,6% των μαθητών. Μόνο το 13,1% των επιτυχόντων μαθητών στη δύσκολη μετάφραση της μοριακής ένωσης μπορούσαν να πετύχουν την πιο εύκολη μετάφραση της ιοντικής ένωσης. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων τις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» (2β) και «μικρο→συμβο» (5α) της μοριακής ένωσης (Kendall's tau_b: 0,170**).

Πίνακας 6.18: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής ένωσης».

	συμβο→μικρο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (μοριακή εν.)	μικρο→συμβο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (ιοντική εν.)	συμβο→μικρο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (ιοντική εν.)
Ποσοστό επιτυχίας	9,0%	8,6%	44,0%
Ποσοστό επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	συμβο→μικρο (μοριακή εν.): 14,6% μικρο→συμβο (μοριακή εν.): 63,6%	μικρο→συμβο (μοριακή εν.): 60,6% μικρο→συμβο (ιοντική εν.): 13,1%	συμβο→μικρο (μοριακή εν.): 71,2% μικρο→συμβο (ιοντική εν.): 67,0%

Από τις λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών αποκαλύπτονται οι παρακάτω εναλλακτικές αντιλήψεις και δυσκολίες: α) Το 17,8% των μαθητών (29,1% της ομάδας Χ.Ε. και 8,9% της ομάδας Υ.Ε.) θεωρούν ότι στην αέρια κατάσταση τα άτομα μιας χημικής ένωσης δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, δηλαδή δεν υπάρχει χημικός δεσμός μεταξύ των ατόμων. β) Το 13,5% των μαθητών (22,8% της ομάδας Χ.Ε. και 4,7% της ομάδας Υ.Ε.) θεωρούν ότι στην αέρια κατάσταση τα άτομα μιας χημικής ένωσης δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, αλλά τα άτομα του ενός χημικού στοιχείου είναι ενωμένα μεταξύ τους σχηματίζοντας διατομικά μόρια. γ) Οι μαθητές έχουν μεγάλη δυσκολία κατανόησης της χρήσης των συντελεστών και των δεικτών στους Μ.Τ. (ερώτηση 5). Το 31,8% των μαθητών (29,6% της ομάδας Χ.Ε. και 29,2% της ομάδας Υ.Ε.) συμβολίζουν 3 μόρια (●●) μίας ουσίας με το Μ.Τ.: «$(NO)_3$». Αντίστοιχα, το 28,1% των μαθητών (28,6% της ομάδας Χ.Ε. και 28,6% της

ομάδας Υ.Ε.) επιλέγουν το Μ.Τ.: «3 NO». Ενώ, το 25,1% των μαθητών (33,9% της ομάδας Χ.Ε. και 18,2% της ομάδας Υ.Ε.) επιλέγουν το Μ.Τ.: «N_3O_3». Παρατηρούμε ότι στους δύο πρώτους λανθασμένους Μ.Τ. δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδα Χ.Ε. και Υ.Ε. δ) Οι μαθητές δυσκολεύονται στη χρήση και στην κατανόηση των συμβόλων των πολυατομικών ιόντων. Το 33,3% των μαθητών (41,3% της ομάδας Χ.Ε. και 25,0% της ομάδας Υ.Ε.) συμβολίζουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση μίας ιοντικής ένωσης της μορφής $(MA)_6$ που αναπαριστάται με δύο είδη σφαιρών με το Μ.Τ.: «LiCN».

6.5.3 Για την έννοια του «διαλύματος»

Η έννοια του διαλύματος εξετάζεται στις ερωτήσεις 4, 7 και 13. Η ερώτηση 4 είναι μία μετάφραση «μικρο→μακρο», η ερώτηση 13 είναι μία μετάφραση «μικρο→συμβο» και η ερώτηση 7 συσχετίζει και τα τρία επίπεδα της χημείας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (πίνακες 6.8 και 6.14) το 29,4% των μαθητών (17,5% της ομάδας Χ.Ε. και 44,2% της ομάδας Υ.Ε.) ήταν επιτυχείς στη μετάφραση «μικρο→μακρο». Αντίστοιχα, το 19,7% των μαθητών (6,9% της ομάδας Χ.Ε. και 33,9% της ομάδας Υ.Ε.) ήταν επιτυχείς στη μετάφραση «μικρο→συμβο». Στην ερώτηση 7, μόνο οι 2 από τις 4 εναλλακτικές απαντήσεις αναφέρονται στην έννοια του διαλύματος, οι οποίες είναι λανθασμένες και γι' αυτό θα συζητηθούν παρακάτω στις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών.

Πίνακας 6.19: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις του «διαλύματος».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Μαθητών
4β	μικρο → μακρο (μεταφράζουν 2 είδη ομοιόμορφα κατανεμημένων σωματιδίων σε διάλυμα)	29,4%
13γ	μικρο → συμβο (μεταφράζουν το υδατικό διάλυμα στο δείκτη aq)	19,7%

Οι αναλύσεις διασταύρωσης έδειξαν ότι και οι δύο μεταφράσεις του υδατικού διαλύματος επιτεύχθηκαν από το 9,2% των μαθητών. Πιο αναλυτικά το 31,4% των μαθητών που πέτυχαν τη μετάφραση «μικρο→μακρο» ήταν επιτυχείς και στη «μικρο→συμβο», ενώ το 46,7% των επιτυχόντων στη «μικρο→συμβο»

πέτυχαν επίσης τη «μικρο→μακρο». Μεταξύ των σωστών απαντήσεων 4β και 13γ υπάρχει συσχετισμός (Kendall's tau_b: 0,189**).

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι μαθητές αποκαλύπτουν τα εξής: α) Δυσκολίες στη διαφοροποίηση μεταξύ των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων υδατικών διαλυμάτων, ετερογενών μειγμάτων και χημικών ουσιών. Το 51,3% των μαθητών (62,4% της ομάδας Χ.Ε. και 39,1% της ομάδας Υ.Ε.) μετέφρασαν τη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός υδατικού διαλύματος βρωμίου σε ένα μίγμα θείου-σιδήρου και το 10,5% των μαθητών (12,2% της ομάδας Χ.Ε. και 10,4% της ομάδας Υ.Ε.) στο θειικό σίδηρο. β) Δυσκολίες με το συμβολισμό του υδατικού διαλύματος χλωρίου. Το 46,4% των μαθητών (59,3% της ομάδας Χ.Ε. και 34,4% της ομάδας Υ.Ε.) επέλεξαν την αναπαράσταση $C\ell_2H_2O_{(aq)}$, ενώ το 26,4% (24,3% της ομάδας Χ.Ε. και 26,0% της ομάδας Υ.Ε.) την αναπαράσταση «$C\ell_2$ και H_2O». γ) Εναλλακτικές αντιλήψεις αναφορικά με τα υδατικά διαλύματα αλάτων. Το 26,6% των μαθητών (35,4% της ομάδας Χ.Ε. και 17,2% της ομάδας Υ.Ε.) αντιστοίχισαν σε ένα υδατικό διάλυμα άλατος μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία εικονίζονται μόρια νερού αναμεμιγμένα με ένα είδος σφαιρών. Δηλαδή, οι μαθητές δεν γνωρίζουν ή αδυνατούν να συσχετίσουν ότι από τη διάλυση του άλατος στο νερό προκύπτουν 2 είδη σωματιδίων. Επίσης, το 13,5% (17,5% της ομάδας Χ.Ε. και 10,9% της ομάδας Υ.Ε.) επέλεξαν μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία εικονίζεται ένα συσσωμάτωμα σφαιρών και μόρια νερού. Δηλαδή, δεν γνωρίζουν ότι σε ένα διαυγές υδατικό διάλυμα το κρυσταλλικό πλέγμα του άλατος έχει διαλυθεί πλήρως στο νερό.

6.5.4 Για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Η έννοια της χημικής αντίδρασης εξετάζεται στις ερωτήσεις 8, 11 και 15, οι οποίες είναι μεταφράσεις «μικρο→συμβο», «συμβο→μικρο» και «μικρο→μακρο», αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 21,0% των μαθητών (4,8% της ομάδας Χ.Ε. και 40,1% της ομάδας Υ.Ε.) είχαν την ικανότητα μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο, ενώ το αντίστροφο επετεύχθη από το 32,0% των

μαθητών (13,2% της ομάδας Χ.Ε. και 54,2% της ομάδας Υ.Ε.) (απάντηση 11δ). Τέλος, τη μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο πέτυχε το 32,4% των μαθητών (14,8% της ομάδας Χ.Ε. και 54,2% της ομάδας Υ.Ε.) (πίνακας 6.20).

Πίνακας 6.20: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «χημικής αντίδρασης».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Μαθητών
8 (222)	μικρο → συμβο (μεταφράζουν τα σωματίδια σε σωστούς Μ.Τ. και συντελεστές)	21,0%
11δ	συμβο → μικρο (μεταφράζουν τους Μ.Τ. και τους συντελεστές στα σωστά σωματίδια με τη σωστή αναλογία)	32,0%
15α	μικρο → μακρο (μεταφράζουν τη διάταξη των σωματιδίων στα σωστά αντιδρώντα και προϊόντα)	32,4%

Στον πίνακα 6.21 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών που πέτυχαν περισσότερες από μία μεταφράσεις. Οι μαθητές που πέτυχαν τόσο τη μετάφραση «μικρο→συμβο» όσο και την αντίστροφη «συμβο→μικρο» ήταν μόνο 12,0%. Συγκεκριμένα, το 57,1% των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→συμβο» μπορούσαν να επιτύχουν και την αντίστροφη, ενώ το 37,6% των επιτυχόντων στη μετάφραση «συμβο→μικρο» μπορούσαν να επιτύχουν και την αντίστροφη. Και τις δύο μεταφράσεις «μικρο→συμβο» και «μικρο→μακρο» πέτυχε το 10,5% των μαθητών. Το 50,0% των επιτυχόντων στη «μικρο→συμβο» πέτυχε και τη«μικρο→μακρο», ενώ το 32,5% των επιτυχόντων στη «μικρο→μακρο» πέτυχε, επίσης, τη «μικρο→συμβο». Συνεπώς, η ικανότητα μετάφρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο συνοδεύεται με μεγαλύτερη πιθανότητα επίτευξης και άλλων μεταφράσεων και ενδεχομένως να υποδηλώνει αυξημένη κατανόηση της έννοιας της χημικής αντίδρασης

Πίνακας 6.21: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης».

Μεταφράσεις	μικρο→συμβο & συμβο→μικρο	μικρο→συμβο & μικρο→μακρο	μικρο→μακρο & συμβο→μικρο	Όλες
Ποσοστό επιτυχίας	12,0%	10,5%	14,4%	6,9%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	μικρο→συμβο: 57,1% συμβο→μικρο: 37,6%	μικρο→συμβο: 50,0% μικρο→μακρο: 32,5%	μικρο→μακρο: 44,4% συμβο→μικρο: 45,0%	μικρο→ συμβο: 32,6% συμβο→μικρο: 21,0% μικρο→μακρό: 21,2%

.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις της χημικής αντίδρασης υπάρχει συσχετισμός. Συγκεκριμένα μεταξύ των μεταφράσεων «μικρο→συμβο» και «συμβο→μικρο» υπολογίστηκε ότι ο Kendall's tau_b=0,278**, μεταξύ των «μικρο→συμβο» και «μικρο→μακρο» υπολογίστηκε ότι ο Kendall's tau_b=0,194** και μεταξύ των «συμβο→μικρο» και «μικρο→μακρο» υπολογίστηκε ότι ο Kendall's tau_b=0,184**.

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι πολλοί μαθητές έχουν βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις ή έλλειψη γνώσεων για τις έννοιες της χημικής αντίδρασης και της χημικής εξίσωσης. Παρατηρείται μεγάλη σύγχυση σχετικά με την εφαρμογή της διατήρησης της μάζας και το ρόλο των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι στη μετάφραση «μικρο→συμβο», στην οποία δινόταν η μικροσκοπική αναπαράσταση μίας χημικής αντίδρασης και οι μαθητές έπρεπε να γράψουν μία αντίστοιχη χημική εξίσωση (ερώτηση ανοικτού τύπου), το 46,1% των μαθητών (61,9% της ομάδας Χ.Ε. και 30,2% της ομάδας Υ.Ε.) δεν απάντησε, ενώ μόνο το 21,0% (4,7% της ομάδας Χ.Ε. και 40,1% της ομάδας Υ.Ε.) απάντησε σωστά. Το 15,3% των μαθητών (14,3% της ομάδας Χ.Ε. και 16,1% της ομάδας Υ.Ε.) κατασκεύασε μία χημική εξίσωση στην οποία τηρούνταν η ισοστάθμιση της μάζας, αλλά ήταν λάθος ένας ή περισσότεροι από τους Μ.Τ. αντιδρώντων και προϊόντων. Το 3,4% των μαθητών (1,1% της ομάδας Χ.Ε. και 3,1% της ομάδας Υ.Ε.) έγραψε σωστά όλους τους Μ.Τ. αλλά δεν διατήρησε τη μάζα. Το 6,7% των μαθητών (5,8% της ομάδας Χ.Ε. και 7,3% της ομάδας Υ.Ε.) έγραψε σωστά μερικούς μόνο Μ.Τ. και δεν διατήρησε τη μάζα, ενώ το 7,3% των μαθητών (11,1% της ομάδας Χ.Ε. και 3,6% της ομάδας Υ.Ε.) έκανε λάθος σε όλους τους Μ.Τ. και στην ισοστάθμιση της μάζας.

Η επίδοση των μαθητών ήταν ανάλογη και στην αντίστροφη μετάφραση «συμβο→μικρο». Το 32,0% των μαθητών συσχέτισε σωστά τη χημική εξίσωση μίας αντίδρασης με την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση, το 51,1% (60,3% της ομάδας Χ.Ε. και 40,6% της ομάδας Υ.Ε.) επέλεξε μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία τήρησε την ισοστάθμιση της μάζας, αλλά ήταν λάθος τουλάχιστον ένα από τα σωματίδια που απεικόνιζαν τα

αντιδρώντα ή τα προϊόντα, ενώ το 17,6% (26,5% της ομάδας Χ.Ε. και 6,8% της ομάδας Υ.Ε.) επέλεξε μία αναπαράσταση στην οποία ήταν σωστά τα σωματίδια αντιδρώντων-προϊόντων, αλλά ήταν λάθος η ισοστάθμιση της μάζας.

Η ανάλυση διασταύρωσης (πίνακας 6.22) έδειξε ότι το 88,8% των μαθητών που ισοστάθμισαν τη μάζα στη μετάφραση «μικρο→συμβο» έκαναν το ίδιο και στη μετάφραση «συμβο→μικρο», ενώ μόνο το 39,4% όσων διατήρησαν τη μάζα στη μετάφραση «συμβο→μικρο» έκαναν το ίδιο και στην αντίστροφη μετάφραση. Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα για τη σωστή μετάφραση των Μ.Τ. σε σωματίδια και το αντίστροφο. Το 63,2% των μαθητών που πέτυχαν τη μετάφραση των σωματιδίων στο σωστό Μ.Τ. ήταν σε θέση να κάνουν και το αντίστροφο, ενώ μόνο το 31,2% των μαθητών που πέτυχαν τη μετάφραση των Μ.Τ. στα σωστά είδη σωματιδίων ήταν επιτυχείς και στο αντίστροφο. Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν το προηγούμενο συμπέρασμα ότι η ικανότητα μετάφρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο ενδεχομένως να συνδέεται με αυξημένη κατανόηση της υποκείμενης έννοιας.

Πίνακας 6.22: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης» αναφορικά με την ισοστάθμιση μάζας και τους Μ.Τ.

	Τήρησαν την ισοστάθμιση της μάζας στις μεταφράσεις: μικρο→συμβο & συμβο→μικρο	Έγραψαν σωστά όλους τους Μ.Τ. αντιδρώντων/προϊόντων στις μεταφράσεις: μικρο→συμβο & συμβο→μικρο
Ποσοστό Επιτυχίας	32,2%	15,5%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	μικρο→συμβο: 88,8% συμβο→μικρο: 39,4%	μικρο→συμβο: 63,2% συμβο→μικρο: 31,2%

Τα αποτελέσματα της μετάφρασης «μικρο→μακρο» δείχνουν την αδυναμία πολλών μαθητών να συσχετίσουν τη φυσική κατάσταση των αντιδρώντων και των προϊόντων σε μία χημική αντίδραση με τις αντίστοιχες μικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Το 26,4% των μαθητών (36,0% της ομάδας Χ.Ε. και 14,6% της ομάδας Υ.Ε.) έκανε λάθος στη φυσική κατάσταση του ενός αντιδρώντος και του προϊόντος. Το 21,0% των μαθητών (27,5% της ομάδας Χ.Ε. και 14,1% της ομάδας Υ.Ε.) έκανε λάθος στη φυσική κατάσταση του προϊόντος, ενώ το 20,6% των μαθητών (20,1% της ομάδας Χ.Ε. και 19,3% της ομάδας Υ.Ε.) έκανε λάθος στη φυσική κατάσταση του ενός αντιδρώντος.

6.5.5 Για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης»

Η έννοια της στερεής φυσικής κατάστασης εξετάζεται στις ερωτήσεις 1, 3, 6 και 7. Η ερώτηση 1 είναι μία μετάφραση «μικρο→μακρο» και εξετάζει την έννοια της «στερεής κατάστασης» σε ένα χημικό στοιχείο. Η ερώτηση 3 είναι μία μετάφραση «μικρο→συμβο» και εξετάζει τη στερεή κατάσταση σε μία χημική ένωση. Η ερώτηση 6 είναι μία μετάφραση «μακρο→μικρο» και εξετάζει τη στερεή κατάσταση σε ένα χημικό στοιχείο. Η ερώτηση 7 συσχετίζει τα τρία επίπεδα της χημείας και εξετάζει τη στερεή κατάσταση σε μία χημική ένωση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 71,4% των μαθητών είχε την ικανότητα να μεταφράσει τη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός στερεού χημικού στοιχείου σε ένα στερεό υλικό (55,5% της ομάδας Χ.Ε. και 85,9% της ομάδας Υ.Ε.) (απαντήσεις 1α και 1γ). Στην αντίστροφη μετάφραση το ποσοστό επιτυχίας ανήλθε στο 87,3% (79,9% της ομάδας Χ.Ε. και 94,8% της ομάδας Υ.Ε.) (απαντήσεις 6α και 6δ). Η μετάφραση «μικρο→συμβο» επιτεύχθηκε από το 67,4% των μαθητών (50,8% της ομάδας Χ.Ε. και 82,3% της ομάδας Υ.Ε.) (απαντήσεις 3α και 3β). Στο συνδυασμό και των τριών επιπέδων της χημείας το ποσοστό επιτυχίας ήταν 53,4% (39,4% της ομάδας Χ.Ε. και 70,8% της ομάδας Υ.Ε.) (απάντηση 7δ) (πίνακας 6.23).

Πίνακας 6.23: Κατανομή συχνότητας για τις μεταφράσεις της «στερεής φυσικής κατάστασης».

Απαντήσεις	Μετάφραση	Ποσοστό Μαθητών
1α + 1γ	μικρο → μακρο (μεταφράζουν τη διάταξη των σωματιδίων σε στερεό)	71,4%
3α + 3β	μικρο → συμβο (μεταφράζουν τη διάταξη των σωματιδίων στο δείκτη «s»)	67,4%
6α + 6δ	μακρο → μικρο (μεταφράζουν το στερεό στη σωστή διάταξη σωματιδίων)	87,3%
7δ	μικρο-μακρο-συμβο (συσχετίζουν το στερεό, το δείκτη «s» και τη σωστή διάταξη σωματιδίων)	53,4%

Στον πίνακα 6.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις διασταύρωσης των μαθητών που πέτυχαν περισσότερες από μία μεταφράσεις. Παρατηρούμε ότι και τις δύο μεταφράσεις «μικρο→μακρο» και «μακρο→μικρο» πετυχαίνει το 63,7% των μαθητών και πιο συγκεκριμένα το 89,2% των επιτυχόντων στη «μικρο→μακρο» πετυχαίνουν και την αντίστροφη και το 73,0% των επιτυχόντων στη «μακρο→μικρο» επιτυγχάνουν και στην

αντίστροφη. Το παραπάνω εύρημα υποδηλώνει ότι οι μαθητές που μπορούν να μεταβούν από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο πιθανόν να έχουν αυξημένη κατανόηση της έννοιας.

Τις μεταφράσεις από το μικροσκοπικό τόσο προς το μακροσκοπικό όσο και προς το συμβολικό επίπεδο πετυχαίνει μόνο το 49,1% των μαθητών. Αναλυτικά, το 68,8% των επιτυχόντων στη «μικρο→μακρο» πετυχαίνει και τη «μικρο→συμβο» και το 72,9% των επιτυχόντων στη «μικρο→συμβο» πετυχαίνει και τη «μικρο→μακρο».

Το συνδυασμό των μεταφράσεων «μικρο→συμβο» και «μακρο→μικρο» πετυχαίνει το 60,1% των μαθητών, με αισθητά μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας μεταξύ των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→συμβο». Δηλαδή, η ικανότητα μετάφρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό υποδηλώνει αυξημένη εννοιολογική κατανόηση για την εξεταζόμενη έννοια.

Πίνακας 6.24: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «στερεής κατάστασης».

Μεταφράσεις	μικρο→μακρο & μακρο→μικρο	μικρο→μακρο & μικρο→συμβο	μικρο→συμβο & μακρο→μικρο
Ποσοστό Επιτυχίας	63,7%	49,1%	60,1%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	μικρο→μακρο: 89,2% μακρο→μικρο: 73,0%	μικρο→μακρο: 68,8% μικρο→συμβο: 72,9%	μικρο→συμβο: 89,2% μακρο→μικρο: 68,8%

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις: 1 και 6 (Kendall's tau_b=0,159*[8]), 3 και 6 (Kendall's tau_b=0,127**), 3 και 7 (Kendall's tau_b=0,145**), 6 και 7 (Kendall's tau_b=178**).

Τα προβλήματα που αποκαλύφτηκαν από τις λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι μαθητές είναι τα εξής: α) Το 23,2% (34,9% της ομάδας Χ.Ε. και 12,0% της ομάδας Υ.Ε.) αντιστοίχισε το υγρό βρώμιο σε μία ουσία με πυκνή διάταξη σωματιδίων και με μεγάλη τάξη. Να σημειώσουμε ότι το χρώμα των σωματιδίων στη μικροσκοπική αναπαράσταση ήταν ίδιο με το χρώμα του υγρού βρωμίου, γεγονός που όπως θα αποδειχθεί από την ποιοτική έρευνα παίζει σημαντικό ρόλο. β) Το 23,0% των μαθητών (32,8% της ομάδας Χ.Ε.

[8] Ο εκθέτης «*» αντιστοιχεί σε συσχετισμό ο οποίος είναι σημαντικός σε επίπεδο 0,05.

και 10,9% της ομάδας Υ.Ε.) συμβόλισαν μία ουσία με πυκνή διάταξη σωματιδίων χρησιμοποιώντας το δείκτη «g» αντί για το δείκτη (s). γ) Κατά το συσχετισμό των τριών επιπέδων της χημείας το 16,3% των μαθητών (21,2% της ομάδας Χ.Ε. και 9,9% της ομάδας Υ.Ε.) αντιστοίχισε σε ένα στερεό αλάτι και στο συμβολισμό «$KCl_{(s)}$» μία μικροσκοπική αναπαράσταση μορίων χωρίς πυκνή διάταξη και μεγάλη τάξη.

6.5.6 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που εξετάζουν ταυτόχρονα 2 έννοιες

Παραπάνω αναφερθήκαμε στα αποτελέσματα για κάθε μία έννοια ξεχωριστά. Οι ερωτήσεις 1 («μικρο→μακρο») και 6 («μακρο→μικρο») εξετάζουν ταυτόχρονα τις έννοιες του «χημικού στοιχείου» και της «στερεής φυσικής κατάστασης». Οι μαθητές που πέτυχαν τις δύο μεταφράσεις πλήρως (και για τις δύο έννοιες) ήταν το 35,4%. Πιο αναλυτικά το 58,3% των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→μακρο» και το 68,2% των επιτυχόντων στη «μακρο→μικρο» απάντησαν σωστά και στις αντίστροφες.

6.5.7 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που περιέχουν συνδυασμό εννοιών

Στις μεταφράσεις της έννοιας της «χημικής αντίδρασης» μεταξύ μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου είναι προαπαιτούμενη γνώση η έννοια της «χημικής ένωσης», δηλαδή η ικανότητα μετάφρασης των σωματιδίων σε Μ.Τ. και το αντίστροφο. Για το λόγο αυτό διασταυρώθηκαν οι σωστές απαντήσεις στις μεταφράσεις «μικρο→συμβο» για μία χημική ένωση (ερώτηση 5) και για μία χημική αντίδραση (ερώτηση 8) και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 6,2% των μαθητών ήταν επιτυχείς και στις δύο μεταφράσεις. Το 43,9% των μαθητών που πέτυχαν τη μετάφραση των σωματιδίων μίας ένωσης στο σωστό Μ.Τ. μπορούσαν να επιτύχουν και για μία χημική αντίδραση. Ωστόσο, προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι μόνο το 29,6% των μαθητών που πετυχαίνουν τη μετάφραση για τη χημική αντίδραση μπορούν να πετύχουν και για μία μόνο χημική ένωση. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε

ότι μεταξύ των σωστών απαντήσεων [5α και 8(222)] υπάρχει συσχετισμός (Kendall's tau_b=0,228**)

Από τη διασταύρωση των σωστών απαντήσεων στις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» για μία χημική ένωση (ερώτηση 2) και για μία χημική αντίδραση (ερώτηση 11) τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 22,7% των μαθητών πέτυχαν και τις δύο μεταφράσεις. Το 36,8% των μαθητών που μετέφρασαν σωστά το Μ.Τ. μίας ένωσης στο αντίστοιχο είδος σωματιδίων μπορούσε να επιτύχει και τη μετάφραση για μία χημική αντίδραση, η οποία απαιτούσε, μεταξύ άλλων, τη μετάφραση τριών Μ.Τ. Από την άλλη, το 71,1% των επιτυχόντων στη μετάφραση της χημικής αντίδρασης, η οποία περιείχε τη μετάφραση τριών Μ.Τ. στα αντίστοιχα είδη σωματιδίων, πέτυχαν και τη μετάφραση του Μ.Τ. μιας μόνο ένωσης. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε τους συσχετισμό μεταξύ των σωστών απαντήσεων [2β και 11δ] (Kendall's tau_b=0,132**). Επίσης, βρέθηκε συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» της χημικής ένωσης (2β) και «μικρο→συμβο» της χημικής αντίδρασης [8(222)] (Kendall's tau_b=0,278**).

6.6 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους μαθητές ανάλογα με τα επίπεδα μετάφρασης

Μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που αναφέρονται σε μεταφράσεις «μικρο→μακρο» είναι οι εξής: 1 (χημικό στοιχείο και στερεή κατάσταση), 4 (διάλυμα) και 15 (χημική αντίδραση και στερεή κατάσταση). Από αυτές η ερώτηση 1 βρέθηκε εύκολη, ενώ οι ερωτήσεις 4 και 15 δύσκολες. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων των ερωτήσεων 1 και 4 (Kendall's tau_b: 0,162**), 1 και 15 (Kendall's tau_b: 0,115*), 4 και 15 (Kendall's tau_b: 0,107*). Στον πίνακα 6.25 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών που πέτυχαν περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→μακρο». Παρατηρούμε ότι μικρό ποσοστό μαθητών που πετυχαίνουν μία μετάφραση «μικρο→μακρο» μπορούν να πετύχουν και δεύτερη ή και τρίτη. Παρατηρούμε, επίσης, ότι όταν οι μαθητές πετυχαίνουν τη μετάφραση για μία δύσκολη

έννοια (χημική αντίδραση ή διάλυμα) είναι πιο πιθανό να πετύχουν επιπλέον τη μετάφραση για μία εύκολη έννοια (χημικό στοιχείο).

Πίνακας 6.25: Ποσοστό επιτυχίας σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→μακρο».

	Χ. στοιχείο & Διάλυμα	Χ. στοιχείο & Χ. αντίδραση	Διάλυμα & Χ. αντίδραση	Όλες
Ποσοστό Επιτυχίας	21,5%	22,3%	11,8%	9,4%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	Χ. στοιχείο:35,3% Διάλυμα:73,0%	Χ. στοιχείο: 36,7% Χ. αντίδραση: 68,9%	Διάλυμα:40,1% Χ. αντίδραση:36,4%	Χ. στοιχείο:15,5% Διάλυμα:32,1% Χ. αντίδραση:29,1%

Μετάφραση από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που αναφέρονται σε μεταφράσεις «μικρο→συμβο» είναι οι εξής: 3 (μοριακή ένωση και στερεή κατάσταση) , 5 (ιοντική ένωση), 8 (χημική αντίδραση) και 13 (διάλυμα). Από αυτές η ερώτηση 3 βρέθηκε μέτριας δυσκολίας, ενώ οι ερωτήσεις 5, 8 και 13 βρέθηκαν δύσκολες. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις: 3 και 8 (Kendall's tau_b: 0,278**), 3 και 13 (Kendall's tau_b: 0,106*), 5 και 8 (Kendall's tau_b: 0,228**), 5 και 13 (Kendall's tau_b: 0,185**), 8 και 13 (Kendall's tau_b: 0,300**).

Μετάφραση από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που αναφέρονται σε μεταφράσεις «συμβο→μικρο» είναι οι εξής: 2 (χημική ένωση) και 11 (χημική αντίδραση). Η ερώτηση 2 βρέθηκε εύκολη και 11 μέτριας δυσκολίας. Ο συσχετισμός και οι αναλύσεις διασταύρωσης των παραπάνω ερωτήσεων αναφέρθηκαν στην παράγραφο 6.5.7.

Μετάφραση από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο: Σε μετάφραση «μακρο→μικρο» αναφέρεται η ερώτηση 6 (χημικό στοιχείο και στερεή κατάσταση), η οποία βρέθηκε εύκολη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΟΥΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ

7.1 Το δείγμα των φοιτητών

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα ευρήματα που προέκυψαν από την ποσοτική έρευνα στους φοιτητές. Το μέγεθος του δείγματος ήταν 86 φοιτητές του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών, οι οποίοι παρακολουθούσαν το Εργαστήριο Οργανικής Χημείας του 6^{ου} εξαμήνου σπουδών. Η πλειοψηφία των φοιτητών (89,5%) βρισκόταν στο 3^{ο} έτος σπουδών, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις (3,5%: 4^{ο} έτος, 1,2%: 5^{ο} έτος, 1,2%: 6^{ο} έτος, 4,7%: δεν δήλωσε σε ποιο έτος βρισκόταν). Αναφορικά με το φύλο των φοιτητών υπερτερούν τα κορίτσια όπως φαίνεται στον πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Η κατανομή του δείγματος των φοιτητών σύμφωνα με το φύλο.

	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
ΑΓΟΡΙΑ	22	25,6%
ΚΟΡΙΤΣΙΑ	62	72,1%
Δεν απάντησαν	2	2,4%
ΣΥΝΟΛΟ	**86**	**100,0%**

7.2 Στατιστικός έλεγχος εγκυρότητας και αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου

Η ποσοτική ανάλυση έγινε με την εφαρμογή της κλασικής θεωρίας ανάλυσης. Τα στάδια που εφαρμόστηκαν κατά την ανάλυση των ερωτήσεων είναι αναλύσεις: των συναφειών, των δεικτών του Cronbach *α*, των μέσων τιμών, των διακυμάνσεων, των δεικτών δυσκολίας και των δεικτών διαφοροποίησης. Στο παράρτημα VI (σελ. 232) παρουσιάζονται, για το δείγμα των φοιτητών, οι συνάφειες ερώτησης - συνόλου ερωτήσεων, οι δείκτες Cronbach *α* για το ερωτηματολόγιο, η μέση τιμή και η διακύμανση της κλίμακας αν η ερώτηση παραλειφθεί.

Τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου της εγκυρότητας (παράρτημα VI - πίνακας 1) έδειξαν ότι οι 14 από τις 15 ερωτήσεις έχουν μέτρια ως υψηλή

συνάφεια με το συνολικό άθροισμά τους και μπορούν να προσφέρουν κατά τα προσδοκώμενα στο συνολικό άθροισμα, ενώ μία ερώτηση (ερώτηση 10) παρουσιάζει αρνητική συνάφεια που σημαίνει ότι πιθανώς είναι μη έγκυρη. Επίσης, δεν παρατηρούνται πολύ υψηλές συνάφειες. Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι οι περισσότερες ερωτήσεις έχουν σημαντική εγκυρότητα. Μετά τη στατιστική επεξεργασία απορρίψαμε την ερώτηση 10 η οποία θεωρήθηκε μη έγκυρη και έτσι οι δείκτες συνάφειας Pearson και οι δείκτες Cronbach *α* που διαμορφώθηκαν περιγράφονται στο παράρτημα VI (πίνακας 2).

Η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου υπολογίστηκε με την αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας, η οποία προσδιορίστηκε με το δείκτη Cronbach *α*. Η τιμή του δείκτη Cronbach *α* είναι 0,8 (παράρτημα VI - πίνακας 2) και τα αποτελέσματα των ελέγχων αξιοπιστίας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κρίνονται ικανοποιητικά. Παρατηρείται ότι η τιμή του παραπάνω δείκτη δεν αυξάνεται με την παράληψη καμίας ερώτησης. Επίσης, η καταλληλότητα των ερωτήσεων φαίνεται και από τους μέσους όρους του ερωτηματολογίου, διότι η παράληψη οποιασδήποτε ερώτησης οδηγεί σε μικρότερο μέσο όρο για το ερωτηματολόγιο από αυτόν με όλες τις ερωτήσεις. Το ίδιο επιβεβαιώνεται και από τη διακύμανση του ερωτηματολογίου, καθώς η παράληψη οποιασδήποτε ερώτησης οδηγεί σε μικρότερη διακύμανση από την ολική διακύμανση του ερωτηματολογίου.

7.3 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές

Τα αποτελέσματα για την επίδοση των φοιτητών στις μεταφράσεις χημικών εννοιών από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2. Η επίδοση των φοιτητών, όπως ήταν αναμενόμενο, είναι καλύτερη από αυτή των μαθητών σε όλες τις ερωτήσεις. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εξακολουθεί να υπάρχει αξιοσημείωτος αριθμός προβλημάτων, γεγονός που προκαλεί εντύπωση εάν λάβουμε υπόψη ότι οι εξεταζόμενες έννοιες είναι θεμελιώδεις για την επιστήμη της χημείας. Με βάση την επίδοση, το δείγμα των φοιτητών χωρίζεται σε τρεις ομάδες: α) στην

ομάδα χαμηλής επίδοσης που περιέχει 22 φοιτητές, οι οποίοι απάντησαν σωστά από 1 έως 8 ερωτήσεις, β) στην ομάδα μεσαίας επίδοσης που περιέχει 43 φοιτητές, οι οποίοι απάντησαν σωστά 9 έως 12 ερωτήσεις και γ) στην ομάδα υψηλής επίδοσης που περιέχει 21 φοιτητές, οι οποίοι απάντησαν σωστά 13 έως 14 ερωτήσεις.

Πίνακας 7.2: Κατανομή συχνότητας στους φοιτητές για κάθε ερώτηση.

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Ομάδα Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Ομάδα Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
1α	**61**	**70,9%**	**8**	**36,4%**	**18**	**85,7%**
1β	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
1γ	15	17,4%	8	36,4%	2	9,5%
1δ	8	9,3%	6	27,3%	1	4,8%
1: καμία απάντηση	2	2,3%	-	-	-	-
2α	14	16,3%	8	36,4%	1	4,8%
2β	**70**	**81,4%**	**12**	**54,5%**	**20**	**95,2%**
2γ	1	1,2%	1	4,5%	0	0,0%
2δ	1	1,2%	1	4,5%	0	0,0%
3α	**75**	**87,2%**	**14**	**63,6%**	**21**	**100,0%**
3β	8	9,3%	5	22,7%	0	0,0%
3γ	2	2,3%	2	9,1%	0	0,0%
3δ	1	1,2%	1	4,5%	0	0,0%
4α	3	3,5%	2	9,1%	0	0,0%
4β	**58**	**67,4%**	**6**	**27,3%**	**20**	**95,2%**
4γ	18	20,9%	12	54,5%	0	0,0%
4δ	6	7,0%	2	9,1%	1	4,8%
4: καμία απάντηση	1	1,2%	-	-	-	-
5α	**51**	**59,3%**	**6**	**27,3%**	**18**	**85,7%**
5β	10	11,6%	4	18,2%	1	4,8%
5γ	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
5δ	25	29,1%	12	54,5%	2	9,5%
6α	**82**	**95,3%**	**18**	**81,8%**	**21**	**100,0%**
6β	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
6γ	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
6δ	4	4,7%	4	18,2%	0	0,0%
7α	6	7,0%	1	4,5%	2	9,5%
7β	8	9,3%	5	22,7%	0	0,0%
7γ	4	4,7%	3	13,6%	0	0,0%
7δ	**76**	**88,4%**	**14**	**63,6%**	**21**	**100,0%**
8 (112)	2	2,3%	1	4,5%	0	0,0%
8 (221)	6	7,0%	4	18,2%	0	0,0%
8 (222)	**72**	**83,7%**	**11**	**50,0%**	**21**	**100,0%**
8: καμία απάντηση	6	7,0%	6	27,3%	-	-

Απάντηση	Απόλυτη συχνότητα	Σχετική συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Ομάδα Χ.Ε. Σχετική συχνότητα	Ομάδα Υ.Ε. Απόλυτη συχνότητα	Ομάδα Υ.Ε. Σχετική συχνότητα
9α	20	23,3%	9	40,9%	0	0,0%
9β	6	7,0%	5	22,7%	0	0,0%
9γ	**56**	**65,1%**	**5**	**22,7%**	**21**	**100,0%**
9δ	3	3,5%	3	13,6%	0	0,0%
9: καμία απάντηση	1	1,2%	-	-	-	-
11α	3	3,5%	2	9,1%	0	0,0%
11β	3	3,5%	3	13,6%	0	0,0%
11γ	14	16,3%	5	22,7%	0	0,0%
11δ	**64**	**74,4%**	**12**	**54,5%**	**21**	**100,0%**
12α	16	18,6%	10	45,5%	0	0,0%
12β	1	1,2%	1	4,5%	0	0,0%
12γ	3	3,5%	1	4,5%	0	0,0%
12δ	**66**	**76,7%**	**10**	**45,5%**	**21**	**100,0%**
13α	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
13β	**55**	**64,0%**	**6**	**27,3%**	**21**	**100,0%**
13γ	10	11,6%	4	18,2%	0	0,0%
13δ	21	24,4%	12	54,5%	0	0,0%
14α	5	5,8%	2	9,1%	0	0,0%
14β	**44**	**51,2%**	**6**	**27,3%**	**17**	**81,0%**
14γ	21	24,4%	5	22,7%	3	14,3%
14δ	11	12,8%	8	36,4%	1	4,8%
14: καμία απάντηση	5	5,8%	-	-	-	-
15α	**59**	**68,6%**	**6**	**27,3%**	**21**	**100,0%**
15β	9	10,5%	5	22,7%	0	0,0%
15γ	7	8,1%	6	27,3%	0	0,0%
15δ	11	12,8%	5	22,7%	0	0,0%

7.4 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές για κάθε εξεταζόμενη έννοια

7.4.1 Για την έννοια του «χημικού στοιχείου»

Η επίδοση των φοιτητών στις μεταφράσεις της έννοιας του «χημικού στοιχείου» είναι αρκετά υψηλή. Στη μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο, το 80,2% των φοιτητών αντιστοίχισε σωστά το ένα είδος σφαιρών με ένα χημικό στοιχείο, ενώ το 17,4% επέλεξε λανθασμένα μία χημική ένωση (ανθρακικό ασβέστιο). Στην αντίστροφη μετάφραση, από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο, η συντριπτική πλειοψηφία των φοιτητών (95,3%) αντιστοίχισε σωστά το μεταλλικό νάτριο με ένα είδος σφαιρών, ενώ μόνο το 4,7% το αντιστοίχισε με δύο είδη σφαιρών.

Και τις δύο παραπάνω μεταφράσεις ήταν σε θέση να επιτύχει το 79,1% των φοιτητών. Συγκεκριμένα, από τους φοιτητές που ήταν επιτυχείς στη μετάφραση «μικρο→μακρο» το 98,6% ήταν επιτυχές και στη «μακρο→μικρο», ενώ από τους φοιτητές που ήταν επιτυχείς στη μετάφραση «μακρο→μικρο» το 82,9% μπορούσε να επιτύχει και το αντίστροφο.

Πίνακας 7.3: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών στις μεταφράσεις του «χημικού στοιχείου».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Επιτυχίας Φοιτητών		
1α + 1β + 1δ	μικρο→μακρο	80,2%	79,1%	98,6% επιτυχόντων «μικρο→μακρο»
6α + 6β	μακρο→μικρο	95,3%		82,9% επιτυχόντων «μακρο→μικρο»

7.4.2 Για την έννοια της «χημικής ένωσης»

Αναφορικά με την έννοια της «χημικής ένωσης» η επίδοση των φοιτητών διέφερε ανάλογα με το είδος της μετάφρασης και το είδος της χημικής ένωσης. Για μία αέρια μοριακή ουσία το 81,4% των φοιτητών μετέφρασε επιτυχώς μια συμβολική αναπαράσταση (Μ.Τ.: «HI») στην αντίστοιχη μικροσκοπική (αναπαράσταση μορίων), ενώ μόνο το 59,3% μετέφρασε τη μικροσκοπική αναπαράσταση των μορίων στην αντίστοιχη συμβολική (Μ.Τ.: «NO»). Ωστόσο, για μία ιοντική ένωση, το ίδιο είδος μετάφρασης (μικρο→συμβο) επιτεύχθηκε από πολύ υψηλότερο ποσοστό φοιτητών (89,5%).

Πίνακας 7.4: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών στις μεταφράσεις της «χημικής ένωσης».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Επιτυχίας Φοιτητών
2β	συμβο→μικρο (μοριακή ένωση)	81,4%
5α	μικρο→συμβο (μοριακή ένωση)	59,3%
3α + 3γ	μικρο→συμβο (ιοντική ένωση)	89,5%

Τα ποσοστά των φοιτητών που ήταν επιτυχόντες σε περισσότερες από μία μεταφράσεις, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις διασταύρωσης, φαίνονται στον πίνακα 7.5. Παρατηρείται ότι αναφορικά με τη μοριακή ένωση και τις δύο μεταφράσεις «συμβο→μικρο» και «μικρο→συμβο» πέτυχε το 52,3% του συνόλου των φοιτητών. Συγκεκριμένα, το 64,3% των επιτυχόντων στην μετάφραση «συμβο→μικρο» πέτυχε και το αντίστροφο, ενώ το 88,2% των επιτυχόντων στη «μικρο→συμβο» πέτυχε και το αντίστροφο.

Πίνακας 7.5: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής ένωσης».

Μεταφράσεις	συμβο→μικρο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (μοριακή εν.)	μικρο→συμβο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (ιοντική εν.)	συμβο→μικρο (μοριακή εν.) & μικρο→συμβο (ιοντική εν.)
Ποσοστό επιτυχίας	52,3%	55,8%	75,6%
Ποσοστό επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	συμβο→μικρο (μοριακή εν.): 64,3% μικρο→συμβο (μοριακή εν.): 88,2%	μικρο→συμβο (μοριακή εν.): 94,1% μικρο→συμβο (ιοντική εν.): 62,3%	συμβο→μικρο (μοριακή εν.): 92,9% μικρο→συμβο (ιοντική εν.): 84,4%

Τις δύο μεταφράσεις «μικρο→συμβο» τόσο για τη μοριακή όσο και για την ιοντική ένωση πέτυχε το 55,8% του συνόλου των φοιτητών. Συγκεκριμένα, το 94,1% των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→συμβο» της μοριακής ένωσης πέτυχε και τη μετάφραση για την ιοντική ένωση, ενώ το 62,3% των επιτυχόντων στη μετάφραση της ιοντικής ένωσης πέτυχε και το αντίστοιχο για τη μοριακή.

Τέλος, τις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» της μοριακής ένωσης και «μικρο→συμβο» της ιοντικής ένωσης μπορούσε να επιτύχει το 75,6% των φοιτητών. Αναλυτικά, αυτοί αποτελούν το 92,9% των επιτυχόντων στη μετάφραση «συμβο→μικρο» της μοριακής ένωσης και το 84,4% των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→συμβο» της ιοντικής ένωσης.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η μετάφραση που προκαλεί ιδιαίτερη δυσκολία στους φοιτητές είναι η «μικρο→συμβο» για τη μοριακή ένωση. Η πλειοψηφία των φοιτητών που μπορούν να ερμηνεύσουν την αναπαράσταση των μορίων μιας ένωσης και να συνάγουν το σωστό Μ.Τ. είναι σε θέση να επιτύχουν τόσο το αντίστοιχο για μία ιοντική ένωση, όσο και το αντίστροφο για μία μοριακή ένωση.

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι φοιτητές περιγράφονται παρακάτω. Για τη συμβολική αναπαράσταση «HI» μιας αέριας μοριακής ένωσης το 16,3% των φοιτητών θεωρεί ότι η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση αποτελείται από δύο είδη κύκλων οι οποίοι δεν είναι ενωμένοι μεταξύ τους (απάντηση 2α, σελ. 235). Για την αντίστροφη μετάφραση, το 29,1% των φοιτητών θεωρεί ότι ο Μ.Τ. μίας ένωσης της οποίας η μικροσκοπική αναπαράσταση απεικονίζει τρία μόρια από δύο διαφορετικά

άτομα το καθένα είναι «3 NO» (απάντηση 5δ, σελ. 236), αντί για «NO», ενώ το 11,6% θεωρεί ότι ο αντίστοιχος Μ.Τ. είναι «$(NO)_3$» (απάντηση 5β, σελ. 236). Τέλος, για μια ιοντική ένωση, της οποίας η μικροσκοπική αναπαράσταση αποτελείται από δύο είδη σφαιρών, το 9,3% των φοιτητών θεωρεί ότι ο αντίστοιχος τύπος είναι «LiCN» (απαντήσεις 3β και 3δ, σελ. 235) θεωρώντας λανθασμένα ότι το σύμβολο «CN» αντιστοιχεί σε ένα χημικό στοιχείο.

7.4.3 Για την έννοια του «διαλύματος»

Αναφορικά με την έννοια του «διαλύματος» η επίδοση των φοιτητών δεν είναι ιδιαίτερα καλή, εφόσον κυμαίνεται από 64,0% έως 76,7%. Δηλαδή, 1 στους 3 ή από 1 στους 4 φοιτητές δεν μπορούν να πετύχουν την κάθε μετάφραση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7.6 και όπως φαίνεται τα ποσοστά επιτυχίας είναι παρόμοια για όλα τα είδη των μεταφράσεων.

Πίνακας 7.6: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις του «διαλύματος».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Επιτυχίας Φοιτητών
4β	μικρο→μακρο	67,4%
9γ	συμβο→μικρο	65,1%
12δ	μακρο→μικρο	76,7%
13β	μικρο→συμβο	64,0%

Τα ποσοστά των φοιτητών που ήταν επιτυχείς σε περισσότερες από μία μεταφράσεις, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις διασταύρωσης, φαίνονται στον πίνακα 7.7 και είναι αξιοσημείωτα. Καταρχήν, κανένας φοιτητής δεν μπόρεσε να επιτύχει και τις τέσσερις μεταφράσεις. Επίσης, κανένας φοιτητής δεν μπόρεσε να επιτύχει και τις δύο μεταφράσεις ανάμεσα στο μικροσκοπικό και το μακροσκοπικό επίπεδο, παρόλο που την κάθε μία από αυτές μπορούσε να την επιτύχει σημαντικό ποσοστό φοιτητών. Και τις δύο μεταφράσεις μεταξύ συμβολικού και μικροσκοπικού επιπέδου μπόρεσε να επιτύχει το 45,3% των φοιτητών. Να σημειωθεί ακόμη ότι η μικροσκοπική αναπαράσταση ενός διαλύματος μπορούσε να μεταφραστεί τόσο σε μακροσκοπική όσο και σε συμβολική από το 50,0% των φοιτητών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η έννοια του «διαλύματος» δυσκόλεψε ιδιαίτερα τους φοιτητές, ανεξάρτητα από τα επίπεδα της χημείας μεταξύ των οποίων έπρεπε να γίνουν οι μεταφράσεις.

Πίνακας 7.7: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «διαλύματος».

Μεταφράσεις	μικρο→μακρο & μακρο→μικρο	συμβο→μικρο & μικρο→συμβο	μικρο→μακρο & μικρο→συμβο	μικρο→μακρο & συμβο→μικρο	συμβο→μικρο & μακρο→μικρο	μακρο→μικρο & μικρο→συμβο
Ποσοστό Επιτυχίας	0,0%	45,3%	50,0%	53,5%	0,0%	0,0%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	μικρο→μακρο: 0,0% μακρο→μικρο: 0,0%	συμβο→μικρο: 69,6% μικρο→συμβο: 70,9%	μικρο→συμβο: 78,2% μικρο→μακρο: 74,1%	συμβο→μικρο: 82,1% μικρο→μακρο: 79,3%	συμβο→μικρο: 0,0% μακρο→μικρο: 0,0%	μακρο→μικρο: 0,0% μικρο→συμβο: 0,0%

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι φοιτητές περιγράφονται παρακάτω. Το 20,9% των φοιτητών θεωρεί ότι η μικροσκοπική αναπαράσταση η οποία απεικονίζει με κύκλους ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μόρια νερού και μόρια ενός διατομικού στοιχείου, αντιστοιχεί το μίγμα θείου-σιδήρου (απάντηση 4γ, σελ. 236), ενώ το 7,0% θεωρεί ότι αντιστοιχεί στο θειικό σίδηρο (απάντηση 4δ). Το 23,3% των φοιτητών μεταφράζει τη συμβολική αναπαράσταση «$KF_{(aq)}$» σε μία αντίστοιχη μικροσκοπική, στην οποία απεικονίζονται μόρια νερού ( ) αναμεμιγμένα με μόρια KF ( ) (απάντηση 9α, σελ. 238), ενώ το 7,0% τη μεταφράζει σε μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία απεικονίζονται μόνο μόρια KF σε μπλε φόντο (απάντηση 9β). Το 18,6% θεωρεί ότι στο αλατόνερο αντιστοιχεί μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία απεικονίζονται μόρια νερού αναμεμιγμένα με μόρια NaCℓ (απάντηση 12α, σελ. 240). Το 11,6% των φοιτητών θεωρεί ότι στη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός υδατικού διαλύματος χλωρίου αντιστοιχεί ο συμβολισμός «$Cℓ_2H_2O_{(aq)}$» (απάντηση 13γ, σελ. 240). Τέλος, κατά το συσχετισμό των τριών επιπέδων της χημείας, το 9,3% των φοιτητών θεωρεί ότι ένα διαυγές διάλυμα άλατος συμβολίζεται ως «$KCℓ_{(aq)}$» και η μικροσκοπική του αναπαράσταση αποτελείται από ομοιόμορφα αναμεμιγμένα μόρια νερού ( ) και κύκλους ενός είδους ( ) (απάντηση 7β, σελ. 237), ενώ το 7,0% θεωρεί ότι η μικροσκοπική αναπαράσταση αποτελείται από μόρια νερού και ένα συσσωμάτωμα από δύο είδη σφαιρών (απάντηση 7α).

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας έδειξαν ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 4 και 9 (Kendall's tau_b=0,429**), 4 και 12 (Kendall's tau_b=0,264*), 4 και 13

(Kendall's tau_b=0,305**), 9 και 12 (Kendall's tau_b=0,521**), 12 και 13 (Kendall's tau_b=0,217*).

7.4.4 Για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Η επίδοση των φοιτητών στην έννοια της «χημικής αντίδρασης» κυμαίνεται ανάλογα με τα επίπεδα μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση. Οι φοιτητές σημείωσαν καλύτερη επίδοση στις μεταφράσεις «μικρο→συμβο» σε σχέση με τις μεταφράσεις «μικρο→μακρο» (πίνακας 7.8).

Πίνακας 7.8: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις της «χημικής αντίδρασης».

Απάντηση	Μετάφραση	Ποσοστό Επιτυχίας Φοιτητών
8 (κωδ. 222)	μικρο→συμβο	83,7%
11δ	συμβο→μικρο	74,4%
14β	μακρο→μικρο	51,2%
15α	μικρο→μακρο	68,6%

Η πιο δύσκολη μετάφραση ήταν η «μακρο→μικρο» και οι φοιτητές που την πέτυχαν σημείωσαν μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας και στις υπόλοιπες μεταφράσεις της χημικής αντίδρασης (πίνακας 8.9). Οι περισσότεροι από τους φοιτητές που μπορούσαν να μεταφράσουν μία χημική εξίσωση στην αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση αντιδρώντων-προϊόντων ήταν σε θέση να επιτύχουν και το αντίστροφο (85,9%), αλλά μόνο το 76,4% όσων μπορούσαν από μία μικροσκοπική αναπαράσταση να συνάγουν την αντίστοιχη χημική εξίσωση μπορούσαν να επιτύχουν και το αντίστροφο. Αυτό, δείχνει ότι η ικανότητα μετάφρασης μίας χημικής εξίσωσης στα αντίστοιχα σωματίδια αντιδρώντων-προϊόντων είναι περισσότερο ενδεικτική για την εννοιολογική κατανόηση της χημικής αντίδρασης, συγκριτικά με το αντίστροφο. Αναφορικά με τις μεταφράσεις «μικρο→μακρο» και «μακρο→μικρο», τα αποτελέσματα δείχνουν ότι και οι δύο επιτεύχθηκαν από το 44,2% των φοιτητών, παρόλο που το ποσοστό επιτυχίας για κάθε μετάφραση ξεχωριστά είναι αισθητά υψηλότερο. Αξιοσημείωτο είναι, επίσης, το εύρημα ότι μόνο το 34,9% των φοιτητών πέτυχε τις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» και «μακρο→μικρο», γεγονός που δείχνει τη δυσκολία να οπτικοποιήσουν τη σωματιδιακή φύση της ύλης.

Πίνακας 7.9: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «χημικής αντίδρασης».

Μεταφράσεις	*Ποσοστό επιτυχίας*	*Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων*
μικρο→συμβο & συμβο→μικρο	64,0%	μικρο→συμβο: 76,4% συμβο→μικρο: 85,9%
μικρο→μακρο & μακρο→μικρο	44,2%	μικρο→μακρο: 64,4% μακρο→μικρο: 86,4%
μικρο→συμβο & μικρο→μακρο	62,8%	μικρο→συμβο: 75,0% μικρο→μακρο: 91,5%
μικρο→μακρο & συμβο→μικρο	54,6%	μικρο→μακρο: 79,7% συμβο→μικρο: 73,4%
μικρο→συμβο & μακρο→μικρο	45,3%	μικρο→συμβο: 54,2% μακρο→μικρο: 88,6%
συμβο→μικρο & μακρο→μικρο	34,9%	συμβο→μικρο: 46,9% μακρο→μικρο: 68,2%
Όλες	29,0%	μικρο→συμβο: 34,7% συμβο→μικρο: 39,1% μικρο→μακρο: 42,4% μακρο→μικρο: 56,8%

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι φοιτητές για την έννοια της «χημικής αντίδρασης» περιγράφονται παρακάτω. Το 7,0% των φοιτητών δεν ήταν σε θέση να γράψει καμία χημική εξίσωση που να εκφράζει τη μικροσκοπική αναπαράσταση που δόθηκε (ερώτηση 8, σελ. 238), ενώ για την ίδια μετάφραση το 7,0% έγραψε σωστά τους Μ.Τ. στη χημική εξίσωση, αλλά χρησιμοποίησε λάθος συντελεστές, δηλαδή δεν τήρησε την ισοστάθμιση της μάζας. Στην αντίστροφη μετάφραση «συμβο→μικρο» (ερώτηση 11, σελ. 239) το 16,3% επέλεξε μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία είχαν μεταφραστεί σωστά οι Μ.Τ. αντιδρώντων και προϊόντων, αλλά δεν είχαν μεταφραστεί σωστά οι συντελεστές, δηλαδή δεν τηρούνταν η ισοστάθμιση της μάζας (απάντηση 11γ). Το 24,4% των φοιτητών θεώρησε ότι σε μία χημική αντίδραση η επικάλυψη ενός καρφιού με ένα κόκκινο στερεό αντιστοιχεί σε μία μικροσκοπική αναπαράσταση η οποία απεικονίζει μόνο σωματίδια αναμεμιγμένα με τα μόρια του νερού (απάντηση 14γ, σελ. 241). Επίσης, το 12,8% των φοιτητών αντιστοίχισε την παραπάνω χημική αντίδραση με μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία δεν τηρείται η ισοστάθμιση της μάζας (απάντηση 14δ). Το 12,8% των φοιτητών αντιστοίχισε τη μικροσκοπική αναπαράσταση μιας χημικής αντίδρασης όπου τα προϊόντα απεικονίζονται με ένα ομοιόμορφο μίγμα σωματιδίων το οποίο περιέχει και ένα συσσωμάτωμα σωματιδίων, με μία φωτογραφία όπου το προϊόν είναι ένα διαυγές υγρό με

φυσαλίδες (απάντηση 15δ, σελ. 242). Ενώ, το 10,5% αντιστοίχισε την παραπάνω μικροσκοπική αναπαράσταση, όπου και τα δύο αντιδρώντα απεικονίζονται με ομοιόμορφα μίγματα σωματιδίων, με μία φωτογραφία όπου το ένα αντιδρών είναι ένα στερεό κομμάτι κιμωλίας (απάντηση 15β). Ένα αντίστοιχο λάθος έκανε και το 8,1% των φοιτητών, οι οποίοι μετέφρασαν την παραπάνω αναπαράσταση σε μία φωτογραφία όπου το ένα αντιδρών είναι ένας μεταλλικός συνδετήρας (απάντηση 15γ).

Προκειμένου να ερευνήσουμε περαιτέρω την παρανόηση σχετικά με την ισοστάθμιση της μάζας κάναμε αναλύσεις διασταύρωσης στους φοιτητές που διατήρησαν τη μάζα στη μετάφραση «συμβο→μικρο» (απαντήσεις 11α, 11β και 11δ) και σε αυτούς που διατήρησαν τη μάζα στη μετάφραση «μικρο→συμβο» (απαντήσεις με κωδικούς: 222, 122, 212 και 112 στην ερώτηση 8, βλ. κωδικοποίηση σελ. 115). Το 68,6% των φοιτητών διατήρησε τη μάζα και στις δύο παραπάνω μεταφράσεις. Πιο αναλυτικά, το 79,7% των φοιτητών που διατήρησε τη μάζα στη μετάφραση «μικρο→συμβο», έκανε το ίδιο και στη μετάφραση «συμβο→μικρο», ενώ το 84,3% των φοιτητών που διατήρησε τη μάζα στη μετάφραση «συμβο→μικρο», έκανε το ίδιο και στη μετάφραση «μικρο→συμβο». Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ένα σημαντικό ποσοστό φοιτητών (31,4%) διατηρεί εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με την ισοστάθμιση της μάζας στις χημικές αντιδράσεις.

Αντίστοιχα, διεξήχθησαν αναλύσεις διασταύρωσης στους φοιτητές που μετέφρασαν σωστά τα σωματίδια σε Μ.Τ. στη μετάφραση «μικρο→συμβο» (απαντήσεις με κωδικούς: 222 και 221 στην ερώτηση 8) και σε αυτούς που μετέφρασαν σωστά τους Μ.Τ. σε σωματίδια στη μετάφραση «συμβο→μικρο» (απαντήσεις 11γ και 11δ). Επιτυχείς και στις δύο παραπάνω μεταφράσεις ήταν το 86,0% των φοιτητών. Πιο αναλυτικά, το 94,9% των επιτυχόντων στη μετάφραση «μικρο→συμβο» ήταν επιτυχείς και στη «συμβο→μικρο» και, επίσης, το 94,9% των επιτυχόντων στη μετάφραση «συμβο→μικρο» ήταν επιτυχείς και στην αντίστροφη. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι περισσότεροι φοιτητές δεν έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με τους Μ.Τ.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας έδειξαν ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 8 και 15 (Kendall's tau_b=0,313**), 14 και 15 (Kendall's tau_b=0,392**).

7.4.5 Για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης»

Η επίδοση των φοιτητών στην έννοια της «στερεής κατάστασης» είναι υψηλή, καθώς κυμαίνεται από 88,3% έως 100,0% (πίνακας 7.10).

Πίνακας 7.10: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών για τις μεταφράσεις της «στερεής κατάστασης».

Απαντήσεις	Μετάφραση	Ποσοστό Επιτυχίας Φοιτητών
1α + 1γ	μικρο→μακρο	88,3%
3α + 3β	μικρο→συμβο	96,5%
6α + 6δ	μακρο→μικρο	100,0%
7δ	μικρο-μακρο-συμβο	88,4%

Όπως φαίνεται από τις αναλύσεις διασταύρωσης (πίνακας 7.11) εξίσου υψηλά είναι τα ποσοστά των φοιτητών που μπορούν να επιτύχουν περισσότερες από μία μεταφράσεις. Αυτό δείχνει ότι η «στερεή κατάσταση» ως έννοια έχει κατανοηθεί πολύ καλά από τους φοιτητές. Η μόνη λανθασμένη αναπαράσταση που επιλέχθηκε σε αξιοσημείωτο ποσοστό (9,3%) είναι η εξής: Η πυκνή διάταξη των σφαιρών σε μία μικροσκοπική αναπαράσταση μεταφράστηκε στο υγρό βρώμιο (απάντηση 1δ, σελ. 234).

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας έδειξαν ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 1 και 3 (Kendall's tau_b=0,215*), 1 και 6 (Kendall's tau_b=0,345**), 3 και 6 (Kendall's tau_b=0,411**), 6 και 7 (Kendall's tau_b=0,264**).

Πίνακας 7.11: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «στερεής κατάστασης».

Μεταφράσεις	*Ποσοστό επιτυχίας*	*Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων*
μικρο→μακρο & μακρο→μικρο	88,4%	μικρο→μακρο: 100,0% μακρο→μικρο: 88,4%
μικρο→μακρο & μικρο→συμβο	87,2%	μικρο→μακρο: 98,7% μικρο→συμβο: 90,4%
μικρο→συμβο & μακρο→μικρο	96,5%	μικρο→συμβο: 100,0% μακρο→μικρο: 96,5%
μικρο→μακρο & μακρο-μικρο-συμβο	77,9%	μικρο→μακρο: 88,2%

		μακρο-μικρο-συμβο: 88,2%
μικρο→συμβο & μακρο-μικρο-συμβο	86,0%	μικρο→συμβο: 89,2% μακρο-μικρο-συμβο:97,4%
μακρο→μικρο & μακρο-μικρο-συμβο	88,4%	μακρο→μικρο: 88,4% μακρο-μικρο-συμβο: 100,0%
Όλες	77,9%	μικρο→μακρο:88,2% μακρο→μικρο:77,9% μικρο→συμβο:80,7% μακρο-μικρο-συμβο:88,2%

7.5 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που εξετάζουν ταυτόχρονα 2 έννοιες

Οι ερωτήσεις 1 («μικρο→μακρο») και 6 («μακρο→μικρο») εξετάζουν ταυτόχρονα τις έννοιες «χημικό στοιχείο» και «στερεή φυσική κατάσταση». Οι φοιτητές που ήταν επιτυχείς και στις δύο μεταφράσεις και στις δύο έννοιες ήταν το 70,9% του δείγματος, ποσοστό ελαφρώς μικρότερο απ' ότι για κάθε μία έννοια ξεχωριστά (πίνακες 7.3 και 7.11). Όλοι οι φοιτητές που πέτυχαν τη μετάφραση «μικρο→μακρο» (απάντηση 1α) απάντησαν σωστά και στην αντίστροφη, ενώ το 74,4%% των φοιτητών που πέτυχαν τη μετάφραση «μακρο→μικρο» (απάντηση 6α) πέτυχαν και την αντίστροφη. Επίσης, βρέθηκε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 1 και 6 (Kendall's tau_b=0,345**).

7.6 Διασταύρωση αποτελεσμάτων για ερωτήσεις που περιέχουν συνδυασμό εννοιών

Οι ερωτήσεις 8 («μικρο→συμβο») και 11 («συμβο→μικρο») εξετάζουν την έννοια της «χημικής αντίδρασης», ωστόσο παράλληλα ελέγχεται και η έννοια της «χημικής ένωσης» διότι αποτελεί προαπαιτούμενη γνώση για τη χημική αντίδραση. Οι αναλύσεις διασταύρωσης έδειξαν ότι το 53,5% των φοιτητών πέτυχε τη μετάφραση «μικρο→συμβο» τόσο για μία μεμονωμένη χημική ένωση (απάντηση 5α), όσο και για μία χημική αντίδραση (απάντηση με κωδικό 222 στην ερώτηση 8). Πιο αναλυτικά, το 90,2% των φοιτητών που μετέφρασαν σωστά την αναπαράσταση των μορίων μιας ουσίας στον αντίστοιχο Μ.Τ., μπορούσαν να μεταφράσουν και την αναπαράσταση των

σωματιδίων των αντιδρώντων και προϊόντων μιας αντίδρασης στη σωστή χημική εξίσωση. Ωστόσο, μόνο το 63,9% των φοιτητών που πέτυχαν τη μετάφραση για τη χημική αντίδραση, ήταν επιτυχείς και στη μεμονωμένη ουσία. Το παραπάνω εύρημα προκαλεί εντύπωση διότι η έννοια της χημικής αντίδρασης είναι πιο σύνθετη και περιλαμβάνει την έννοια της χημικής ένωσης. Σε συνδυασμό με το υψηλό ποσοστό (29,1%) που χρησιμοποίησε λανθασμένα συντελεστή κατά τη μετάφραση των μορίων μίας ουσίας στον αντίστοιχο Μ.Τ. (απάντηση 5δ), προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι φοιτητές διατηρούν εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με την ερμηνεία των συντελεστών και τη χρήση τους στους Μ.Τ.

Οι αναλύσεις διασταύρωσης έδειξαν, επίσης, ότι τις μεταφράσεις «συμβο→μικρο» τόσο για μία μεμονωμένη χημική ένωση (απάντηση 2β) όσο και για μία χημική αντίδραση (απάντηση 11δ) πέτυχε το 64,0% των φοιτητών. Το 78,6% των φοιτητών που ήταν επιτυχείς στη μετάφραση της χημικής ένωσης ήταν, επίσης, επιτυχείς και στη μετάφραση της χημικής αντίδρασης. Αντίστοιχα, το 85,9% των φοιτητών που πέτυχαν τη μετάφραση για τη χημική αντίδραση, μπορούσαν να κάνουν το ίδιο και για τη μεμονωμένη χημική ένωση.

7.7 Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας στους φοιτητές ανάλογα με τα επίπεδα μετάφρασης

Μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που εξετάζουν μεταφράσεις «μικρο→μακρο» είναι οι εξής: 1 (χημικό στοιχείο και στερεή κατάσταση), 4 (διάλυμα) και 15 (χημική αντίδραση). Η διασταύρωση των σωστών απαντήσεων 1α, 4β και 15α παρουσιάζεται στον πίνακα 7.12. Παρατηρείται ότι το ποσοστό των φοιτητών που πετυχαίνουν σε δύο από τις τρεις μεταφράσεις «μικρο→μακρο» κυμαίνεται από 50,0% έως 54,6%. Περίπου 3 στους 4 φοιτητές που πετυχαίνουν μία μετάφραση «μικρο→μακρο», ανεξάρτητα από την υποκείμενη έννοια, μπορούν να επιτύχουν και μία δεύτερη μετάφραση.

Πίνακας 7.12: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→μακρο».

	Χ. στοιχείο & Διάλυμα	Χ. στοιχείο & Χ. αντίδραση	Διάλυμα & Χ. αντίδραση	Όλες
Ποσοστό Επιτυχίας	50,0%	54,6%	54,6%	43,0%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	Χ. στοιχείο: 70,5% Διάλυμα: 74,1%	Χ. στοιχείο: 77,0% Χ. αντίδραση: 79,7%	Διάλυμα: 81,0% Χ. αντίδραση: 79,7%	Χ. στοιχείο: 60,6% Διάλυμα: 63,8% Χ. αντίδραση: 62,7%

Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 1 και 15 (Kendall's tau_b=0,284**), ο οποίος εξηγείται διότι τόσο στην ερώτηση 1 για το στερεό χημικό στοιχείο όσο και στην ερώτηση 15 για τη χημική αντίδραση οι φοιτητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι η πυκνή διάταξη των σωματιδίων αντιστοιχεί σε στερεό υλικό. Επίσης, υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 4 και 15 (Kendall's tau_b=0,385**), ο οποίος δικαιολογείται διότι τόσο στην ερώτηση 4 για το υδατικό διάλυμα όσο και στην ερώτηση 15 για τη χημική αντίδραση οι φοιτητές θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι ομοιόμορφα αναμεμιγμένα σωματίδια αντιστοιχούν σε διάλυμα. Τέλος, δεν βρέθηκε συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 1 και 4.

Μετάφραση από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που εξετάζουν μεταφράσεις «μακρο→μικρο» είναι οι εξής: 6 (χημικό στοιχείο και στερεή κατάσταση), 12 (διάλυμα) και 14 (χημική αντίδραση). Η διασταύρωση των σωστών απαντήσεων 6α, 12δ και 14β παρουσιάζεται στον πίνακα 7.13.

Πίνακας 7.13: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μακρο→μικρο».

	Χ. στοιχείο & Διάλυμα	Χ. στοιχείο & Χ. αντίδραση	Διάλυμα & Χ. αντίδραση	Όλες
Ποσοστό Επιτυχίας	75,6%	50,0%	40,7%	40,7%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	Χ. στοιχείο: 79,3% Διάλυμα: 98,5%	Χ. στοιχείο: 52,4% Χ. αντίδραση: 97,8%	Διάλυμα: 53,0% Χ. αντίδραση: 79,5%	Χ. στοιχείο: 42,7% Διάλυμα: 53,0% Χ. αντίδραση: 79,5%

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των φοιτητών που πετυχαίνουν σε 2 από τις 3 μεταφράσεις κυμαίνεται από 40,7% έως 75,6%. Στις μεταφράσεις «μακρο→μικρο» παίζει ρόλο η υποκείμενη έννοια στην οποία οι φοιτητές επιτυγχάνουν. Δηλαδή, σχεδόν όλοι φοιτητές (98,5%) που πετυχαίνουν τη μετάφραση για το διάλυμα μπορούν να πετύχουν και τη μετάφραση για το

στερεό χημικό στοιχείο, ενώ το αντίστροφο παρατηρείται σε ποσοστό 79,3%. Επίσης, σχεδόν όλοι οι φοιτητές (97,8%) που πετυχαίνουν τη μετάφραση για τη χημική αντίδραση μπορούν να πετύχουν και τη μετάφραση για το στερεό χημικό στοιχείο, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει σε ποσοστό 52,4%. Τέλος, όλοι οι φοιτητές που πετυχαίνουν τις μεταφράσεις για το διάλυμα και τη χημική αντίδραση μπορούν να πετύχουν και τη μετάφραση για το στερεό χημικό στοιχείο. Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσο πιο δύσκολη είναι η υποκείμενη χημική έννοια στην οποία επιτυγχάνουν οι φοιτητές, τόσο πιο πιθανό είναι να μπορούν να πετύχουν και μεταφράσεις για ευκολότερες χημικές έννοιες. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 6 και 12 (Kendall's tau_b=0,271*), ο οποίος αποδίδεται στο κοινό είδος μετάφρασης («μακρο→μικρο»), διότι οι υποκείμενες έννοιες (στερεό χημικό στοιχείο και υδατικό διάλυμα άλατος) δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Τέλος, δεν υπάρχει συσχετισμός των παραπάνω απαντήσεων με τη σωστή απάντηση της ερώτησης 14.

Μετάφραση από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που εξετάζουν μεταφράσεις «μικρο→συμβο» είναι οι εξής: 3 (χημική ένωση και στερεή κατάσταση), 5 (χημική ένωση), 8 (χημική αντίδραση) και 13 (διάλυμα). Η διασταύρωση των σωστών απαντήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.14.

Πίνακας 7.14: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «μικρο→συμβο».

	Μοριακή εν. & Ιοντική εν.	Μοριακή εν. & Διάλυμα	Μοριακή εν. & Αντίδραση	Ιοντική εν. & Διάλυμα	Ιοντική εν. & Αντίδραση	Διάλυμα & Αντίδραση	Όλες
Ποσοστό Επιτυχίας	54,6%	41,9%	53,5%	55,8%	74,4%	58,1%	39,5%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	Μοριακή εν.: 92,2% Ιοντική εν.: 62,7%	Μοριακή εν.: 70,6% Διάλυμα: 65,4%	Μοριακή εν.: 90,2% Αντίδραση: 63,9%	Ιοντική εν.: 64,0% Διάλυμα: 87,3%	Ιοντική εν.: 85,3% Αντίδραση: 88,9%	Διάλυμα: 90,9% Αντίδραση: 69,4%	Μοριακή εν.: 66,7% Ιοντική εν.: 45,3% Διάλυμα: 61,8% Αντίδραση: 47,2%

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των φοιτητών που πετυχαίνουν περισσότερες από μία μεταφράσεις κυμαίνεται από 39,5% έως 74,4% και παίζουν ρόλο οι υποκείμενες έννοιες. Η πλειοψηφία των φοιτητών που πετυχαίνουν τη μετάφραση για τη μοριακή ένωση πετυχαίνουν επίσης τις μεταφράσεις για τη στερεή ιοντική ένωση (92,2%) και για τη χημική αντίδραση (90,2%), ενώ δεν

ισχύει το ίδιο για τη μετάφραση του διαλύματος την οποία πετυχαίνει το 70,6% των επιτυχόντων στη μοριακή ένωση. Αντίστοιχα, από τους φοιτητές που πετυχαίνουν τη μετάφραση του υδατικού διαλύματος μόνο το 65,4% πετυχαίνουν την αντίστοιχη μετάφραση για τη μοριακή ένωση, το 87,3% για τη στερεή ιοντική ένωση και 90,9% για την αντίδραση. Δηλαδή, αρκετοί φοιτητές ενώ πετυχαίνουν σε μία δύσκολη έννοια (διάλυμα), δεν μπορούν να πετύχουν σε μία πιο απλή (μοριακή ένωση) και πετυχαίνουν σε μία εξίσου δύσκολη (αντίδραση).

Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων υπάρχει μόνο για τις ερωτήσεις 8 και 13 (Kendall's tau_b=0,259*), ο οποίος αποδίδεται στο κοινό είδος μετάφρασης («μικρο→συμβο»), διότι οι υποκείμενες έννοιες (χημική αντίδραση και υδατικό διάλυμα) δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά.

Μετάφραση από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο: Οι ερωτήσεις που εξετάζουν μεταφράσεις «συμβο→μικρο» είναι οι εξής: 2 (χημική ένωση), 9 (διάλυμα) και 11 (χημική αντίδραση). Η διασταύρωση των σωστών απαντήσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.15.

Πίνακας 7.15: Ποσοστό επιτυχίας φοιτητών σε περισσότερες από μία μεταφράσεις «συμβο→μικρο».

	Χ. ένωση & Διάλυμα	Χ. ένωση & Χ. αντίδραση	Διάλυμα & Χ. αντίδραση	Όλες
Ποσοστό Επιτυχίας	53,5%	64,0%	55,8%	47,7%
Ποσοστά επιτυχίας εντός των επιτυχόντων	Χ. ένωση: 65,7% Διάλυμα: 82,1%	Χ. ένωση: 78,6% Χ. αντίδραση: 85,9%	Διάλυμα: 85,7% Χ. αντίδραση: 75,0%	Χ. ένωση: 58,6% Διάλυμα: 73,2% Χ. αντίδραση: 64,1%

Όπως φαίνεται, το ποσοστό των φοιτητών που πετυχαίνουν περισσότερες από μία μεταφράσεις κυμαίνεται από 47,7% έως 64,0%. Μεταξύ των επιτυχόντων στην έννοια του διαλύματος το 82,1% πετυχαίνει στη χημική ένωση και το 85,7% στη χημική αντίδραση. Μεταξύ των επιτυχόντων στη χημική αντίδραση το 85,9% πετυχαίνει στη χημική έννοια και το 75,0% στο διάλυμα. Μεταξύ των επιτυχόντων στη χημική ένωση, το 78,6% πετυχαίνει στη χημική αντίδραση και το 65,7% στο διάλυμα. Συνεπώς, οι φοιτητές που πετυχαίνουν τη μετάφραση μίας δύσκολης έννοιας είναι πιο πιθανό να

πετύχουν και μεταφράσεις για πιο εύκολες έννοιες, με εξαίρεση την περίπτωση του διαλύματος.

Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι συσχετισμός μεταξύ των σωστών απαντήσεων υπάρχει μόνο για τις ερωτήσεις 9 και 11 (Kendall's tau_b=0,259*), ο οποίος αποδίδεται στο κοινό είδος μετάφρασης («μικρο→συμβο»), διότι οι υποκείμενες έννοιες (υδατικό διάλυμα και χημική αντίδραση) δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ

8.1 Περιγραφή ποιοτικής έρευνας

Το 2^{ο} σκέλος της έρευνας ήταν μία ποιοτική έρευνα σε μαθητές Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου. Το δείγμα ήταν 16 μαθητές που αποτελούσαν μέρος του δείγματος της ποσοτικής έρευνας. Η ποιοτική έρευνα είχε τη μορφή προσωπικής ημιδομημένης συνέντευξης και περιελάμβανε 6 φάσεις, στις οποίες δείχνονταν στους μαθητές χημικές αναπαραστάσεις και τους ζητείτο είτε να τις ερμηνεύσουν, είτε να κατασκευάσουν οι ίδιοι (ερωτήσεις ανοικτού τύπου) είτε να επιλέξουν (ερωτήσεις κλειστού τύπου) αντίστοιχες αναπαραστάσεις σε κάποιο άλλο επίπεδο της χημείας. Κατόπιν, ζητείτο από τους μαθητές να εξηγήσουν το συλλογισμό τους ή/και να περιγράψουν με λόγια τις αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν. Οι περισσότερες ερωτήσεις είχαν χρησιμοποιηθεί και στο ερωτηματολόγιο της ποσοτικής έρευνας είτε αυτούσιες είτε με μικρές παραλλαγές, καθώς από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ποσοτικής έρευνας προέκυψε η ανάγκη να απαντηθούν κάποια επιπλέον ερωτήματα.

8.2 Αποτελέσματα ποιοτικής έρευνας στους μαθητές

8.2.1 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «μεταλλικού νατρίου»

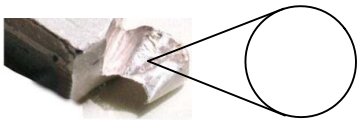
Στην 1^{η} φάση της συνέντευξης δείχτηκαν στους μαθητές μία σειρά φωτογραφιών (μακροσκοπικές αναπαραστάσεις) για 6 υλικά και τους ζητήθηκε να κατασκευάσουν αντίστοιχες μικροσκοπικές και συμβολικές αναπαραστάσεις για αυτά. Το 1^{ο} υλικό ήταν το «μεταλλικό νάτριο» και η μικροσκοπική αναπαράσταση για αυτό θα έπρεπε να έχει δύο χαρακτηριστικά: 1) να αποτελείται από ένα είδος κύκλων, γιατί πρόκειται για χημικό στοιχείο και 2) οι κύκλοι να βρίσκονται σε πυκνή διάταξη μεταξύ τους, γιατί είναι στερεό υλικό. Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζονται κωδικοποιημένες οι

απαντήσεις των μαθητών και στο παράρτημα VII (πίνακας 1, σελ. 245) παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών.

Από τους 16 μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα, οι 6 σχεδίασαν μία μικροσκοπική αναπαράσταση που περιείχε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που περιγράφηκαν παραπάνω. Οι αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι υπόλοιποι μαθητές περιέχουν τα εξής λάθη: α) απεικόνισαν το «μεταλλικό νάτριο» χρησιμοποιώντας είτε δύο είδη κύκλων είτε τρία είδη κύκλων είτε ένα είδος τετραγώνων είτε μία συμπαγή επιφάνεια αντί για κύκλους. β) Σχεδίασαν τα σωματίδια του «μεταλλικού νατρίου» είτε ενωμένα μεταξύ τους ως να είναι χημική ένωση, είτε να βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους ως να είναι σε αέρια κατάσταση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «μεταλλικό νάτριο».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;



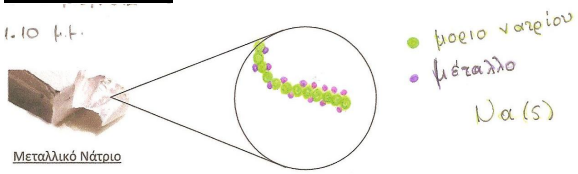
Μεταλλικό Νάτριο

Περίπτωση	Είδη Σωματιδίων	Ονομασία Σωματιδίου	Διάταξη Σωματιδίων	Συμβολική Αναπαρ/ση
$1^η$	1 είδος κύκλων	Μόριο νατρίου	Εφάπτονται	Na_3
$2^η$	2 είδη κύκλων	Μόριο νατρίου & Μέταλλο	Ενώνονται	$Na_{(s)}$
$3^η$, $14^η$	1 είδος κύκλων	Μόριο νατρίου	Εφάπτονται	$Na_{(s)}$
$4^η$	1 είδος τετραγώνων	Άτομο νατρίου	Ενώνονται	Na
$5^η$	2 είδη κύκλων	Νάτριο & Μέταλλο	Σε απόσταση	Na^+
$6^η$	3 είδη κύκλων	Ηλεκτρόνιο, Πρωτόνιο & Νετρόνιο	Εφάπτονται	Na
$7^η$	Γκρι επιφάνεια	-	-	Na
$8^η$	1 είδος κύκλων	Σωματίδιο μεταλλικού νατρίου	Ενώνονται	Na ↓
$9^η$	1 είδος κύκλων	Σωματίδιο νατρίου	Ενώνονται	Na^+
$10^η$	1 είδος κύκλων	Νάτριο	Ενώνονται	Na
$11^η$	1 είδος κύκλων	Στοιχείο νατρίου	Ενώνονται	Na
$12^η$, $13^η$, $15^η$	1 είδος κύκλων	Άτομο νατρίου	Εφάπτονται	$Na_{(s)}$
$16^η$	2 είδη κύκλων	Άτομο νατρίου & -	Εφάπτονται	NaFe

Αναφορικά με την ονομασία του κάθε σωματιδίου, 5 μαθητές χρησιμοποίησαν το σωστό όρο «άτομο νατρίου», ενώ οι υπόλοιποι χρησιμοποίησαν τις ονομασίες: α) «μόριο νατρίου», β) «νάτριο», γ) «σωματίδιο νατρίου», δ) «στοιχείο νατρίου» και ε) «ηλεκτρόνιο», «πρωτόνιο» και «νετρόνιο» (ο μαθητής αυτός σχεδίασε τρία είδη σωματιδίων). Επίσης, οι μαθητές που

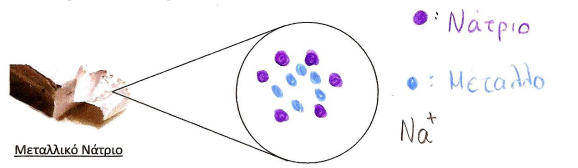
σχεδίασαν 2 είδη κύκλων είχαν την εναλλακτική αντίληψη ότι η λέξη «μεταλλικό» υποδηλώνει την παρουσία ενός δεύτερου συστατικού στο υλικό το οποίο προσδίδει το μεταλλικό χαρακτήρα στο νάτριο και το οποίο ονόμασαν «μέταλλο» ή το χαρακτήρισαν ως «απροσδιόριστη ουσία». Χαρακτηριστικά είναι τα σχέδια αυτών των μαθητών και οι εξηγήσεις τους που ακολουθούν παρακάτω:

2η περίπτωση



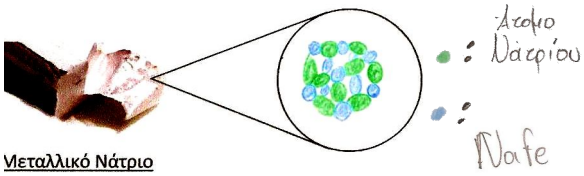
«Τα μόρια του νατρίου είναι με το πράσινο, είναι στρογγυλά και επειδή είναι το μεταλλικό νάτριο έκανα και αυτά με το μωβ (που είναι για το) μέταλλο και είναι ενωμένα μεταξύ τους. (Σκέφτηκα ότι) αποτελείται από το νάτριο και το μέταλλο και ένωσα τις δύο ουσίες.»

5η περίπτωση



«Έχω σχεδιάσει μωβ σφαιρικά σωματίδια τα οποία αντιστοιχούν στο νάτριο και κάθε ένα μωβ σωματίδιο αντιστοιχεί σε ένα θαλασσί το οποίο νομίζω ότι είναι το μέταλλο. Δεν ακουμπάνε. Έχουνε κάποια απόσταση.»

16η περίπτωση



«… θα έχουμε το νάτριο σε μικρά σωματίδια, τα οποία θα ενώνονται με κάτι άλλο που το κάνει μεταλλικό. Αυτό το άλλο δεν ξέρω τι μπορεί να είναι … Κολλημένα δεν θα το έλεγα (ότι είναι τα σωματίδια), αλλά είναι πολύ κοντά.»

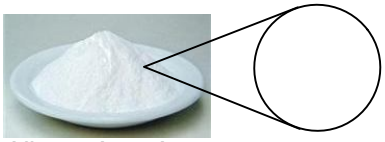
Η συμβολική αναπαράσταση του «μεταλλικού νατρίου» θα έπρεπε να περιέχει δύο χαρακτηριστικά: 1) το σύμβολο «Na» για το νάτριο και 2) το δείκτη «s» για τη στερεή κατάσταση. Τον πλήρη συμβολισμό «$Na_{(s)}$» έγραψαν 6 μαθητές, ενώ 5 μαθητές δήλωσαν ότι δεν γνώριζαν το συμβολισμό για τη στερεή κατάσταση και έγραψαν μόνο «Na». Οι υπόλοιποι μαθητές έγραψαν τους συμβολισμούς: α) «Na ↓» διότι η στερεή κατάσταση συμβολίζεται με «↓», β) «Na^+» διότι το σωματίδιο του μεταλλικού νατρίου είναι κατιόν ή διότι ο εκθέτης «+» συμβολίζει το στερεό, γ) «NaFe» διότι το «Fe» συμβολίζει το 2° συστατικό που αντιστοιχεί στο μέταλλο, δ) «Na_3» διότι ο δείκτης «3» συμβολίζει το «μεταλλικό». Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι 2 από τους 3 μαθητές που θεωρούν ότι εκτός από το νάτριο υπάρχει και ένα άλλο συστατικό που προσδίδει το μεταλλικό χαρακτήρα δεν χρησιμοποίησαν κάποιο σύμβολο για να το απεικονίσουν.

8.2.2 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «χλωριούχου νατρίου»

Στη συνέχεια της 1ης φάσης ζητήθηκε από τους μαθητές να κατασκευάσουν μία μικροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση για το στερεό «χλωριούχο νάτριο». Με δεδομένο ότι το στερεό «χλωριούχο νάτριο» είναι μία ιοντική χημική ένωση που αποτελείται από δύο στοιχεία (το νάτριο και το χλώριο), τα οποία βρίσκονται με τη μορφή ιόντων (κατιόντα νατρίου και ανιόντα χλωρίου), η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση θα έπρεπε να αποτελείται από δύο είδη κύκλων, οι οποίοι να απεικονίζουν τα παραπάνω ιόντα και να βρίσκονται σε πυκνή διάταξη μεταξύ τους, με μεγάλη τάξη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται κωδικοποιημένα στον πίνακα 8.2 και στο παράρτημα VII (πίνακας 2, σελ. 246) παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «στερεό χλωριούχο νάτριο».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;



Χλωριούχο νάτριο

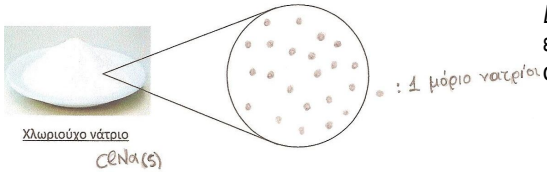
Περ.	Είδη Σωματιδίων	Ονομασία Σωματιδίων	Διάταξη Σωματιδίων	Συμβολική Αναπαρ/ση
1η	1 είδος κύκλων	Μόριο χλωριούχου νατρίου	Αραιά	HℓNa
2η	2 είδη κύκλων	Μόριο νατρίου & Μόριο χλωρίου	Κολλημένα, ενωμένα	$NaCℓ_{2(s)}$
3η	1 είδος κύκλων	Μόριο νατρίου	Αραιά	$CℓNa_{(s)}$
4η	1 είδος κύκλων & 1 είδος τετραγώνων	Άτομο νατρίου & Άτομο χλωρίου	Ενώνεται 1 άτομο νατρίου με 4 άτομα χλωρίου	NaCℓ
5η	2 είδη κύκλων	Νάτριο & Χλώριο	Ακουμπάνε	NaCℓ
6η	2 είδη κύκλων	Πρωτόνιο & Ηλεκτρόνιο	Πολύ κοντά μεταξύ τους, σαν κύτταρα, ακουμπάνε	CHNa
7η	1 είδος κύκλων	Μικροί κόκκοι	-	NaCℓ
8η	1 είδος κύκλων	Σωματίδιο χλωριούχου νατρίου	Μικροί κόκκοι, αραιοί	NaCℓ ↓
9η	2 είδη κύκλων	Σωματίδιο χλωρίου	Αραιά	CℓNa

10η	2 είδη κύκλων	Νάτριο & Χλώριο	Ενωμένα ανά δύο (σαν μόρια), αραιά	Cℓ, Na
11η	1 είδος κύκλων	Χλώριο	Αραιά	CℓNa
12η	2 είδη κύκλων	Άτομο νατρίου & Άτομο χλωρίου	Ενωμένα ανά δύο (σαν μόρια), αραιά	$NaC\ell_{(s)}$
13η	2 είδη κύκλων	Άτομο νατρίου & Άτομο χλωρίου, Μόριο χλωριούχου νατρίου	Ενωμένα ανά δύο (σαν μόρια), κοντά μεταξύ τους	$NaC\ell_{(s)}$
14η	2 είδη κύκλων	Ιόν νατρίου & Ιόν χλωρίου	Ενώνονται & σχηματίζουν πλέγμα	$NaC\ell_{(s)}$
15η	2 είδη κύκλων	Άτομο νατρίου & Άτομο χλωρίου	Ενωμένα ανά δύο (σαν μόρια), κοντά, αλλά πιο αραιά από το «νάτριο»	$NaC\ell_{(s)}$
16η	2 είδη κύκλων	Άτομο νατρίου & Άτομο χλωρίου	Ενωμένα εναλλάξ, ανά 8 σχηματίζουν ένα τετράγωνο, τα οποία ενώνονται διαγώνια στις άκρες τους	NaCℓ

Μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση που να περιέχει τα παραπάνω χαρακτηριστικά σχεδίασε μόνο ένας μαθητής. Οι υπόλοιποι μαθητές έκαναν τα εξής λάθη:

α) Σχεδίασαν ένα είδος σωματιδίων, το οποίο ονόμασαν «μόριο χλωριούχου νατρίου» ή «σωματίδιο χλωριούχου νατρίου» ή «μόριο νατρίου» ή «χλώριο» ή «μικρός κόκκος». Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι το εξής:

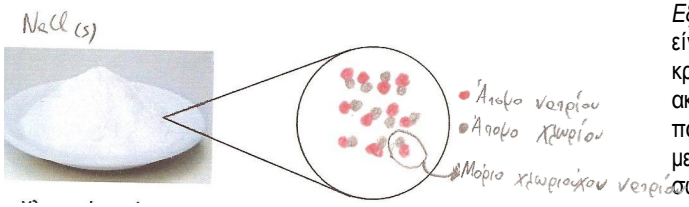
3η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Κάνω πιο αραιές τις κουκίδες επειδή είναι σε σκόνη και ίσως τα μόρια είναι λίγο πιο αραιά μεταξύ τους. Γι' αυτό και τα έκανα έτσι.»

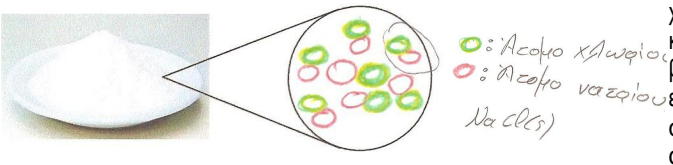
β) Χρησιμοποίησαν δύο είδη σωματιδίων και σχεδίασαν ομάδες ενωμένων κύκλων με αναλογία 1:1, σαν μόρια. Μόνο ένας μαθητής ονόμασε τις ομάδες των ενωμένων κύκλων ως «μόρια χλωριούχου νατρίου», ενώ οι υπόλοιποι ονόμασαν κάθε κύκλο ξεχωριστά ως: «άτομο νατρίου» & «άτομο χλωρίου» ή «νάτριο» & «χλώριο». Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

13η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Το χλωριούχο νάτριο είναι στερεό, αλλά είναι σε κρυστάλλους, οπότε δεν το σκέφτομαι ακριβώς όπως το μεταλλικό νάτριο, αλλά παρόλα αυτά ακόμα και έτσι οι δεσμοί μεταξύ τους θα είναι στενοί. (Τα σωματίδιά του) θα είναι στερεά και σχετικά σκληρά, όπως είναι ένα κρυσταλλάκι αλατιού …»

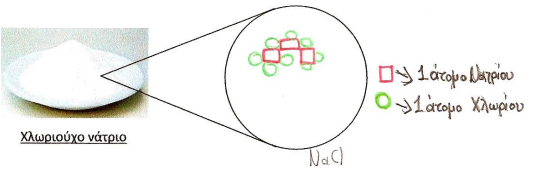
15η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Είναι ένα άτομο χλωρίου και ένα άτομο νατρίου ενωμένα και αυτά τα ενωμένα σωματίδια βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο, γιατί είναι στερεό σε σκόνη ... επειδή είναι σε σκόνη θα είναι λίγο πιο αραιά από τα άλλα.»

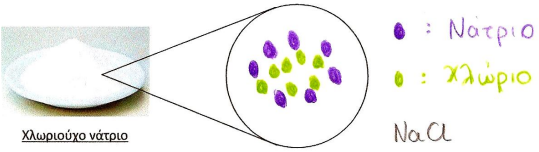
γ) Χρησιμοποίησαν δύο είδη κύκλων οι οποίοι είτε δεν είχαν διάταξη με μεγάλη τάξη είτε δεν είχαν αναλογία 1:1 είτε σχημάτιζαν ομάδες ενωμένων κύκλων, ως μόρια, με αναλογία 4:4. Λάθη σημειώθηκαν και στις ονομασίες των κύκλων τους οποίους ονόμασαν ως: «μόριο νατρίου» & «μόριο χλωρίου», «νάτριο» & «χλώριο», «πρωτόνιο» & «ηλεκτρόνιο» ή ονόμασαν μόνο το ένα είδος κύκλων ως «σωματίδιο χλωρίου». Για παράδειγμα:

3η περίπτωση



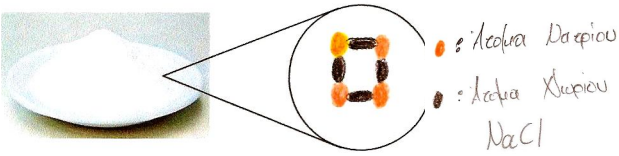
Εξήγηση μαθητή: «... θα υπάρχουν 2 διαφορετικά στοιχεία μέσα, το χλώριο και το νάτριο. Ενώνεται σχεδόν σε όλα 1 άτομο νατρίου με 3 άτομα χλωρίου. Και φαντάζομαι πως θα είναι τετράγωνο το νάτριο και κύκλος το χλώριο ... Έχουν συγκεκριμένη σειρά και πάνε να ακολουθήσουν ένα συγκεκριμένο μοντέλο, μοτίβο, 1 προς 4.»

5η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «... έχω μωβ στα σωματίδια του νατρίου και αντιστοιχεί κάθε ένα πράσινο το οποίο συμβολίζει το χλώριο ... Ακουμπάνε μεταξύ τους γιατί είναι σε σκόνη, οπότε είναι κόκκοι, οπότε δεν υπάρχει περίπτωση να μην συνδέονται, όπως το φαντάζομαι.»

16η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Έχω βάλει στις άκρες το νάτριο που ενώνεται με χλώριο ... Το φαντάστηκα να παίρνει μια μορφή έτσι ... (Τα 'πακέτα' των ενωμένων ατόμων δεν είναι) το ένα κολλητά στο άλλο, (αλλά) διαγώνια, να ενώνονται οι γωνίες.»

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για τη διάταξη των σωματιδίων, ανεξάρτητα από τα είδη των σωματιδίων που αναγνωρίστηκαν, 9 μαθητές σχεδίασαν μία πυκνή διάταξη, την οποία δικαιολόγησαν γιατί το υλικό είναι στερεό, ενώ 6 μαθητές σχεδίασαν τα σωματίδια αραιά μεταξύ τους. Είναι πολύ χαρακτηριστική η εναλλακτική αντίληψη που καταγράφτηκε σε 7 μαθητές ότι επειδή το χλωριούχο νάτριο είναι με τη μορφή κόκκων τα σωματίδιά του δεν είναι τόσο κοντά μεταξύ τους όσο σε μια πιο συμπαγή μορφή όπως το μεταλλικό νάτριο, ενώ μερικοί θεωρούν ότι δεν είναι στερεό υλικό. Επίσης,

καταγράφτηκε η αντίθετη άποψη ότι τα σωματίδια ακουμπάνε μεταξύ τους γιατί το υλικό είναι με μορφή κόκκων, οι οποίοι αναμφίβολα ακουμπάνε μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή ο μαθητής θεωρεί ότι η μακροσκοπική ιδιότητα των κόκκων να ακουμπάνε μεταξύ τους ισχύει και στα σωματίδια, δηλαδή αποδίδει στα σωματίδια μακροσκοπικές ιδιότητες της ουσίας.

Από τις εξηγήσεις των μαθητών προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο σχεδιασμός κύκλων προκειμένου να απεικονιστούν τα σωματίδια δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ο μαθητής έχει αντιληφθεί τη σωματιδιακή φύση της ύλης. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις 7 και 8 οι μαθητές αναφέρουν ότι με τους κύκλους απεικονίζουν «μικρούς κόκκους». Μάλιστα στην περίπτωση 8, ο μαθητής χαρακτηρίζει τον κάθε κύκλο ως «σωματίδιο χλωριούχου νατρίου», ενώ παρακάτω αναφέρει ότι φαντάζεται τα σωματίδια του χλωριούχου νατρίου ως «μικρούς-μικρούς κόκκους».

Ωστόσο, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο μαθητής έχει κατανοήσει τη σωματιδιακή φύση της ύλης και έχει το κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο αδυνατεί να κατασκευάσει μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η περίπτωση 13, όπου ενώ ο μαθητής γνωρίζει ότι το χλωριούχο νάτριο είναι σε μορφή κρυστάλλων σχεδιάζει μόρια. Επίσης, αποδίδει στα σωματίδια μακροσκοπικές ιδιότητες αναφέροντας χαρακτηριστικά: «*(Τα σωματίδια) θα είναι στερεά και σχετικά σκληρά, όπως είναι ένα κρυσταλλάκι αλατιού …*».

Αναφορικά με την ικανότητα συμβολισμού του στερεού χλωριούχου νατρίου μόνο 4 μαθητές έγραψαν το σωστό συμβολισμό: «$NaC\ell_{(s)}$». Οι υπόλοιποι μαθητές έγραψαν τους συμβολισμούς: α) «$NaC\ell$», διότι δεν γνωρίζουν ότι η φυσική κατάσταση συμβολίζεται με το δείκτη «s» δεξιά στο Μ.Τ., β) «$C\ell Na$», διότι δεν γνωρίζουν από την ονοματολογία ότι αυτό που διαβάζεται πρώτο γράφεται δεύτερο, γ) «$C\ell Na_{(s)}$» για τον ίδιο λογο, δ) «$NaC\ell \downarrow$», διότι χρησιμοποιούν στο Μ.Τ. το σύμβολο «↓» για τη στερεή κατάσταση, το οποίο χρησιμοποιείται στις χημικές εξισώσεις, ε) «$NaC\ell_{2(s)}$», διότι ο δείκτης «2» συμβολίζει τον αριθμό οξείδωσης του νατρίου, στ) «$C\ell$, Na», διότι οι χημικές ενώσεις συμβολίζονται γράφοντας τα σύμβολα των χημικών στοιχείων από τα

οποία αποτελούνται και χωρίζοντάς τα με κόμμα, ζ) «Hℓ Na» και η) «CHNa», διότι δεν γνωρίζουν ότι το σύμβολο του χλωρίου είναι «Cℓ».

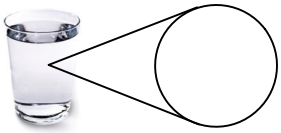
Να σημειωθεί ότι και οι 5 μαθητές που δήλωσαν και σχεδίασαν το χλωριούχο νάτριο να αποτελείται από ένα είδος σωματιδίων, στο συμβολισμό που έγραψαν χρησιμοποίησαν τα σύμβολα δύο χημικών στοιχείων. Επίσης, οι μαθητές που δεν σχεδίασαν τα άτομα νατρίου και χλωρίου με αναλογία 1:1 έγραψαν το σωστά το Μ.Τ.: «NaCℓ», δηλαδή με αναλογία 1:1. Πιθανές ερμηνείες για το γεγονός αυτό είναι ότι για να γράψουν το Μ.Τ. οι μαθητές χρησιμοποιούν μόνο την ονομασία ή κάνουν ανάκληση από τη μνήμη όταν πρόκειται για γνωστή χημική ένωση, όπως το χλωριούχο νάτριο. Δηλαδή, ούτε λαμβάνουν υπόψη ούτε κάνουν κάποιο συσχετισμό με τη δομή των σωματιδίων που σχεδίασαν. Αυτό δείχνει ότι οι μαθητές δεν συσχετίζουν το συμβολικό με το μικροσκοπικό επίπεδο.

8.2.3 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «νερού»

Το 3^{ο} υλικό που δείχτηκε στους μαθητές και για το οποίο ζητήθηκε να κατασκευάσουν μία μικροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση είναι το νερό. Το νερό είναι μία μοριακή χημική ένωση που αποτελείται από μόρια στα οποία έχουν ενωθεί δύο άτομα υδρογόνου με ένα άτομο οξυγόνου. Συνεπώς, η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση πρέπει να αποτελείται από ομάδες τριών ενωμένων κύκλων (μόρια), από τους οποίους δύο ενός είδους (υδρογόνου) και ένας άλλου είδους (οξυγόνο). Επίσης, επειδή το νερό είναι υγρό, τα μόριά του θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μη βρίσκονται σε μεγάλη τάξη μεταξύ τους. Ο πίνακας 8.3 παρουσιάζει κωδικοποιημένες τις απαντήσεις των μαθητών και το παράρτημα VII (πίνακας 3, σελ. 247) παρουσιάζει τα σχέδια των μαθητών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «νερό».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;



Νερό

Περ.	Είδη Σωματιδίων	Ονομασία Σωματιδίων	Διάταξη Σωματιδίων	Συμβολική Αναπαρ/ση
1η	1 είδος κύκλων & 1 είδος γραμμών	Οξυγόνο & Υδρογόνο	Πολύ κοντά	H_2O
2η	2 είδη κύκλων	Μόριο οξυγόνου (O_2) & Μόριο υδρογόνου (H_2)	Πυκνή διάταξη, μεγάλη τάξη, όλα ενωμένα μεταξύ τους (σαν πλέγμα)	H_2O
3η	2 είδη κύκλων	Μόριο υδρογόνου & Μόριο οξυγόνου	Ανεξάρτητα & πολύ κοντά	$H_2O_{(\ell)}$
4η	1 είδος κύκλων & 1 είδος ωοειδούς σχήματος	Άτομο οξυγόνου & Άτομο υδρογόνου	Πυκνή διάταξη, μεγάλη τάξη, όλα ενωμένα μεταξύ τους (σαν πλέγμα)	H_2O
5η	2 είδη κύκλων	Υδρογόνο & Οξυγόνο	Ενωμένα 2 οξυγόνα με 1 υδρογόνο (σαν μόρια). Εφάπτονται	H_2O
6η	1 είδος κύκλων	Φυσαλίδες	Αραιά	Η
7η	-	-	-	H_2O
8η	1 είδος κύκλων & σταγόνες	Σταγόνες νερού	Εφάπτονται	H_2O
9η	1 είδος κύκλων	-	Σε κοντινές αποστάσεις	H_2O
10η	1 είδος κύκλων	Μόρια νερού	Εφάπτονται	H_2O
11η	1 είδος κύκλων	Στοιχείο νερού	Αραιά	H_2O
12η, 13η, 16η	2 είδη κύκλων	Άτομο υδρογόνου, Άτομο οξυγόνου & Μόριο νερού	Μόρια νερού σε απόσταση μεταξύ τους	$H_2O_{(\ell)}$
14η	2 είδη κύκλων	Ιόν υδρογόνου, Ιόν οξυγόνου & Μόριο νερού	Μόρια νερού σε απόσταση μεταξύ τους	$H_2O_{(\ell)}$
15η	2 είδη κύκλων	Άτομο υδρογόνου, Άτομο οξυγόνου	Μόρια νερού σε απόσταση μεταξύ τους	$H_2O_{(\ell)}$

Παρόλο που το νερό είναι μία ουσία που οι μαθητές έχουν μελετήσει εκτενώς στο μάθημα της χημείας, η κατασκευή ενός σχεδίου που να απεικονίζει τα σωματίδιά του τους δυσκόλεψε αρκετά. Ενδεικτικό είναι ότι μόνο 5 μαθητές σχεδίασαν μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση και από αυτούς μόνο οι 3 ήταν σε θέση να ονομάσουν σωστά τα σωματίδια ως: «άτομο οξυγόνου», «άτομο υδρογόνου» και «μόριο νερού». Ένας μαθητής έγραψε σωστά τις δύο πρώτες ονομασίες, αλλά δεν χρησιμοποίησε τον όρο «μόριο νερού», ενώ ο

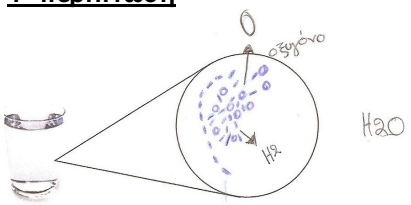
άλλος μαθητής ονόμασε τα σωματίδια ως: «ιόν οξυγόνου», «ιόν υδρογόνου» και «μόριο νερού».

Στα σχέδια που κατασκεύασαν οι μαθητές παρατηρούνται τα εξής λάθη:

α) σχεδίασαν μόρια νερού, αλλά με αντίστροφη αναλογία οξυγόνου προς υδρογόνο, δηλαδή 2:1.

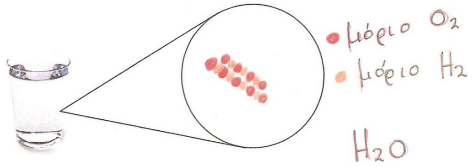
β) Σχεδίασαν 2 είδη σωματιδίων με πυκνή διάταξη μεταξύ τους σαν πλέγμα. Μάλιστα, ένας μαθητής απεικόνισε το ένα είδος σωματιδίων με ωοειδές σχήμα και ένας άλλος με γραμμές, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχέδια:

1η περίπτωση



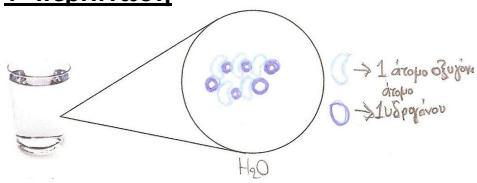
Εξήγηση μαθητή: «…θα σχεδιάσω μόρια νερού ενωμένα, γιατί το νερό είναι υγρό και δεν μπορεί να διασπαστεί … Αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο, τα οποία είναι ενωμένα.»

2η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Ένωσα το υδρογόνο και το οξυγόνο γιατί ξέρω ότι το νερό αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο.»

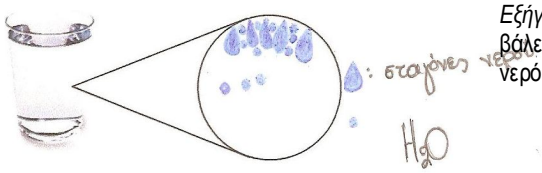
4η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «… έχουμε αναλογία 1 άτομο οξυγόνου προς 2 άτομα υδρογόνου. Με κυκλάκι μπλε σκούρο τα άτομα του υδρογόνου, με σχήμα φασολιού με πιο ανοικτό μπλε τα άτομα του οξυγόνου. Είναι σαν αλυσίδα, το ένα δίπλα στο άλλο στη σειρά, αλλά και ενώνονται στη σειρά… μετά από κάτω άλλη σειρά κι άλλη σειρά.»

γ) Σχεδίασαν 2 είδη κύκλων αραιά μεταξύ τους σαν μίγμα. δ) Σχεδίασαν 1 είδος κύκλων είτε να εφάπτονται είτε να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους είτε να είναι αραιά μεταξύ τους. ε) Σχεδίασαν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως σταγόνες και φυσαλίδες. Για παράδειγμα:

8η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Σταγόνες νερού και ενδιάμεσα έχω βάλει σωματίδια που … δεν ξέρω γιατί τα έβαλα … Όταν το νερό το βλέπουμε σε μικρή ποσότητα στάζει.»

Και στ) δεν σχεδίασαν τίποτα, γιατί θεωρούν ότι δεν θα βλέπαμε τίποτα.

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκε αδυναμία ή σύγχυση στην ονομασία των σωματιδίων. Μαθητές που σχεδίαζαν μόρια αδυνατούσαν να αναφέρουν τον όρο αυτό ή μαθητές που σχεδίαζαν άτομα τα ονόμαζαν ως μόρια ή ιόντα.

Οι συνεντεύξεις των μαθητών αποκάλυψαν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις παρόλο που σχεδιάζουν κύκλους για να απεικονίσουν τα σωματίδια, όπως τους ζητάμε, δεν αντιλαμβάνονται τη σωματιδιακή φύση της ύλης. Χαρακτηριστικά αναφέρουν ότι: *«ένωσα το υδρογόνο και το οξυγόνο γιατί ξέρω ότι το νερό αποτελείται από υδρογόνο και οξυγόνο»* (2η περίπτωση), ή *«… το νερό αποτελείται από φυσαλίδες γιατί άμα το βράζουμε αρχίζει να κάνει φυσαλίδες»* (6η περίπτωση), ή *«… το νερό αποτελείται από σταγόνες γιατί όταν το βλέπουμε σε μικρή ποσότητα στάζει»* (8η περίπτωση). Επίσης, κάποιοι μαθητές αποδίδουν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στα σωματίδια. Για παράδειγμα, αναφέρουν ότι: *«… τα μόρια του νερού είναι ενωμένα μεταξύ τους γιατί το νερό είναι υγρό και δεν μπορεί να διασπαστεί»* (1η περίπτωση), ή *«… τα σωματίδια του νερού βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους συγκριτικά με τη σκόνη»* (3η περίπτωση) ή *«… έχω συνδυάσει το νερό με το γαλάζιο … τα σωματίδια θα είχανε μπλε χρώμα … τα σωματίδια του νερού εφάπτονται, γιατί βρίσκονται σε ποτήρι οπότε συμπιέζονται»* (10η περίπτωση) ή *«… τα σωματίδια είναι πιο κοντά μεταξύ τους απ' ότι στο χλωριούχο νάτριο, γιατί είναι σε υγρή μορφή και περιέχονται μέσα σε ένα ποτήρι, οπότε είναι πιο κοντά μεταξύ τους … δεν θα είναι τόσο κοντά όσο σε ένα στερεό»* (11η περίπτωση).

Αναφορικά με την κατασκευή της συμβολικής αναπαράστασης για το νερό, τον πλήρη συμβολισμό «$H_2O_{(\ell)}$» έγραψαν 6 μαθητές, ενώ 9 μαθητές έγραψαν σωστά το Μ.Τ. «H_2O», αλλά δεν ήξεραν να συμβολίσουν την υγρή φυσική κατάσταση. Μόνο ένας μαθητής έγραψε λάθος Μ.Τ.: «Η». Ωστόσο, οι εξηγήσεις των μαθητών αποκάλυψαν ότι η γνώση του Μ.Τ. δεν συνοδεύεται απαραίτητα από αντίστοιχη γνώση της ερμηνείας του ή από εννοιολογική κατανόηση των συμβόλων που περιέχονται σε αυτόν. Πολλοί μαθητές που δεν μπορούσαν να εξηγήσουν τι ακριβώς εκφράζει ο Μ.Τ. που έγραψαν δήλωσαν ότι απλά έτσι τον έχουν μάθει, ενώ κάποιοι άλλοι είχαν την εναλλακτική αντίληψη ότι ο δείκτης «2» αναφέρεται στο οξυγόνο. Η αδυναμία των μαθητών να ερμηνεύσουν το Μ.Τ. «H_2O» και να χρησιμοποιήσουν

χημικούς όρους όπως «άτομο», «μόριο» κτλ. φαίνεται από τις παρακάτω χαρακτηριστικές απαντήσεις:

1η περίπτωση:
Ερευνητής: Μπορείς να μου πεις στον τύπο του νερού, τι συμβολίζει το κάθε ένα σύμβολο;
Μαθητής: «Το ‘H_2’ συμβολίζει το υδρογόνο και το ‘Ο’ συμβολίζει το οξυγόνο.»
Ερ.: Το ‘2’;
Μαθ.: «Είναι υδρογόνο … είναι 2 οξυγόνο. Το ‘2’ πάει στο οξυγόνο.»
Ερ.: Και τι συμβολίζει το ‘2’; Τι σημαίνει;
Μαθ.: «Συμβολίζει ότι αποτελείται από 2 οξυγόνα; Όχι…»
Ερ.: Για σκέψου του.
Μαθ.: «Πάει στο οξυγόνο το 2, αλλά δεν ξέρω γιατί …»

2η περίπτωση:
Ερ.: Εξήγησε μου πώς σκέφτηκες για να γράψεις αυτό το συμβολισμό.
Μαθ.: (δεν μπορεί να απαντήσει)
Ερ.: Απλά το ξέρεις ή το σκέφτηκες κάπως διαφορετικά;
Μαθ.: «Το ‘2’ είναι ο αριθμός οξείδωσης του οξυγόνου; Εντάξει τώρα το νερό το ξέρω κιόλας ότι είναι υδρογόνο δύο οξυγόνο. Το υδρογόνο έχει αριθμό οξείδωσης το 1 και το 2 είναι του οξυγόνου.»
Ερ.: Έχεις βάλει τρία σύμβολα: το Η, το 2 και το Ο. Πες μου τι είναι το κάθε ένα σύμβολο από αυτά.
Μαθ.: «Υδρογόνο»
Ερ.: Το Η είναι το υδρογόνο;
Μαθ.: «Ναι. Δύο υδρογόνα και το οξυγόνο.»
Ερ.: Το 2 σημαίνει δύο υδρογόνα και το Ο σημαίνει;
Μαθ.: «Ένα οξυγόνο.»

5η περίπτωση:
Ερ.: Τι συμβολίζει το κάθε ένα από αυτά τα σύμβολα;
Μαθ.: «Το ‘Η’ συμβολίζει το υδρογόνο και το ‘Ο’ το οξυγόνο.»
Ερ.: Το 2;
Μαθ.: «Το 2 είναι το ανιόν του οξυγόνου, το οποίο πάει στο υδρογόνο.»
Ερ.: Σημαίνει κάτι ή απλά έτσι το βάζουμε για να φτιάξουμε τον τύπο; Ή έχει κάποια ερμηνεία όταν το βάζουμε στον τύπο;
Μαθ.: «Έχουμε δύο υδρογόνα.»

9η περίπτωση:
Ερ.: Εξήγησέ μου αναλυτικά τι συμβολίζει το κάθε σύμβολο που χρησιμοποίησες;
Μαθ.: «Το ‘Η’ συμβολίζει το υδρογόνο και το ‘Ο’ συμβολίζει το οξυγόνο.»
Ερ.: Το ‘2’;
Μαθ.: «Το ‘2’ … βγαίνει από τύπους … αλλά δεν ξέρω τι συμβολίζει. Βγαίνει από τύπο.»

10η περίπτωση:
Ερ.: Το κάθε ένα από αυτά τι συμβολίζει;
Μαθ.: «Βασικά έτσι το έχω μάθει από τη χημεία.»
Ερ.: Έτσι το έχεις μάθει. Μπορείς να υποθέσεις τι είναι το καθένα, αν το σκεφτείς λίγο;
Μαθ.: «Εεεε … ότι … στο οξυγόνο περιέχονται δύο υδρογόνα; Κάπως έτσι;»

Να σημειώσουμε ότι ακόμα και αν οι μαθητές γνωρίζουν την ερμηνεία του Μ.Τ. δεν μπορούν να σχεδιάσουν τα αντίστοιχα σωματίδια. Από τους 11 μαθητές που δήλωσαν ότι ο δείκτης «2» σημαίνει ότι υπάρχουν 2 άτομα υδρογόνου, μόνο οι 5 σχεδίασαν τα αντίστοιχα μόρια. Οι υπόλοιποι είτε δεν σχεδίασαν μόρια είτε σχεδίασαν μόρια με αντίστροφη αναλογία υδρογόνου-οξυγόνου. Τέλος, να επισημάνουμε την αναντιστοιχία ανάμεσα στην ικανότητα συμβολισμού του νερού και στην ικανότητα κατασκευής μίας μικροσκοπικής αναπαράστασης, η οποία, όπως φάνηκε από τις συνεντεύξεις, οφείλεται μεταξύ άλλων στο ότι οι μαθητές απομνημονεύουν και χρησιμοποιούν τα χημικά σύμβολα χωρίς να κατανοούν εννοιολογικά τη σημασία τους, γεγονός που εξηγεί την αδυναμία τους να σχεδιάζουν τα σωματίδια που συμβολίζουν.

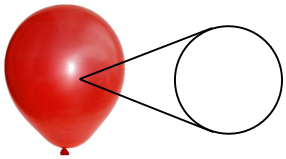
8.2.4 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «αέριου οξυγόνου»

Το 4^{ο} υλικό για το οποίο ζητήσαμε από τους μαθητές να κατασκευάσουν μία μικροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση είναι το αέριο οξυγόνο. Το οξυγόνο αποτελείται από διατομικά μόρια και συνεπώς, η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση πρέπει να αποτελείται από ένα είδος κύκλων (άτομα οξυγόνου), οι οποίοι να είναι ανά δύο ενωμένοι μεταξύ τους (μόρια οξυγόνου). Επίσης, τα μόρια του οξυγόνου πρέπει να είναι αραιά μεταξύ τους και χωρίς καθόλου τάξη, γιατί το υλικό είναι αέριο. Στον πίνακα 8.4 παρουσιάζονται οι κωδικοποιημένες απαντήσεις των μαθητών και στο παράρτημα VII (πίνακας 4, σελ. 248) παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών.

Μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση κατασκεύασαν 5 μαθητές, από τους οποίους οι 4 χρησιμοποίησαν τις σωστές ονομασίες για τα σωματίδια: «άτομο οξυγόνου» και «μόριο οξυγόνου», ενώ ένας μαθητής χρησιμοποίησε τις ονομασίες: «ιόν οξυγόνου» και «μόριο οξυγόνου», αντίστοιχα. Οι αναπαραστάσεις των υπολοίπων μαθητών περιείχαν τα παρακάτω λάθη: α) Χρησιμοποίησαν ένα είδος κύκλων, αλλά τους σχεδίασαν ανεξάρτητα τον ένα από τον άλλο, χωρίς να σχηματίζουν μόρια. Τα ονόματα που χρησιμοποίησαν

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «αέριο οξυγόνο».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;

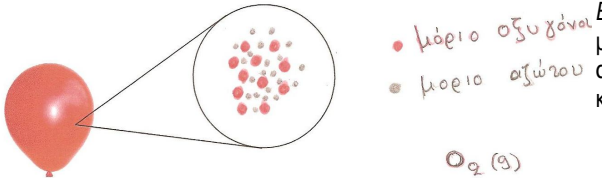


Μπαλόνι με αέριο Οξυγόνο

Περ.	***Είδη Σωματιδίων***	***Ονομασία Σωματιδίων***	***Διάταξη Σωματιδίων***	***Συμβολική Αναπαρ/ση***
$1^η$	1 είδος κύκλων	Μόριο οξυγόνου	Ανεξάρτητα, αραιά	O_2
$2^η$	2 είδη κύκλων	Μόριο οξυγόνου & Μόριο αζώτου	Ανεξάρτητα, αραιά	$O_{2(g)}$
$3^η$	1 είδος κύκλων	Μόριο οξυγόνου	Ανεξάρτητα, αραιά	$O_{2(g)}$
$4^η$	1 είδος κύκλων	Άτομο οξυγόνου	Όλα ενωμένα μεταξύ τους (σαν πλέγμα)	O_2
$5^η$	1 είδος κύκλων	Οξυγόνο	Ανεξάρτητα, αραιά	O^2
$6^η$	1 είδος κύκλων	-	1 κύκλος μόνος του	O
$7^η$	-	-	-	O_2
$8^η$	-	-	-	$O_2 \uparrow$
$9^η$	1 είδος κύκλων	Οξυγόνο	Ανεξάρτητα, αραιά	$O_2 \uparrow$
$10^η$	1 είδος κύκλων	Οξυγόνο	Μερικά μόνα τους, μερικά με μορφή μορίων 2 ή 3 ατόμων, αραιά	-
$11^η$	1 είδος κύκλων	Αέριο του οξυγόνου	Ανεξάρτητα, αραιά	$O \uparrow$
$12^η$, $13^η$	1 είδος κύκλων	Άτομο οξυγόνου & Μόριο οξυγόνου	Μορφή μορίων, αραιά	$O_{2(g)}$
$14^η$	1 είδος κύκλων	Ιόν οξυγόνου & Μόριο οξυγόνου	Μορφή μορίων, αραιά	$O_{2(g)}$
$15^η$	1 είδος κύκλων	Άτομο οξυγόνου	Μορφή μορίων, αραιά	$O_{2(g)}$
$16^η$	1 είδος κύκλων	Άτομο οξυγόνου & Μόριο οξυγόνου	Μορφή μορίων, αραιά	O_2

για να περιγράψουν τα σωματίδια ήταν: «μόριο οξυγόνου» ή «οξυγόνο» ή «αέριο του οξυγόνου». β) Ένας μαθητής χρησιμοποίησε δύο είδη κύκλων, τους οποίους σχεδίασε αραιά και ξεχωριστά τον ένα από τον άλλο σαν μίγμα:

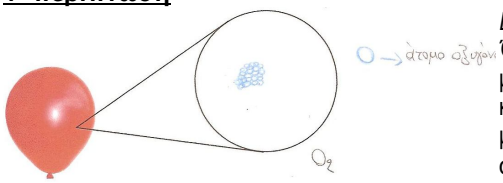
<u>$2^η$ περίπτωση</u>



Εξήγηση μαθητή: «Λέει αέριο οξυγόνο, έβαλα τα μόρια του οξυγόνου, απλώς ξέρω ότι στην ατμόσφαιρα υπάρχει και το άζωτο και το έβαλα και το άζωτο.»

γ) Ένας μαθητής χρησιμοποίησε ένα είδος κύκλων, τους οποίους σχεδίασε όλους ενωμένους μεταξύ τους ως πλέγμα:

4η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «… σαν μικρά μπιλάκια, κολλημένα … Ότι συμβολισμούς έχω δει, συνήθως, και με το νερό είναι με κύκλους και με τον αέρα είναι με μικρά κυκλάκια. Οπότε κάπως έτσι το φαντάστηκα και πιστεύω ότι επειδή είναι και μέσα σε μπαλόνι, σε ένα συγκεκριμένο χώρο, θα είναι συμπιεσμένα οπότε θα είναι όλα το ένα πάνω στο άλλο.»

δ) Ένας μαθητής χρησιμοποίησε ένα είδος κύκλων και σχεδίασε μερικούς κύκλους ανεξάρτητους και μερικούς ενωμένους ανά δύο ή ανά τρεις, ονομάζοντας τον κάθε κύκλο «οξυγόνο». Ωστόσο, ο μαθητής δεν ήταν σε θέση να εξηγήσει το σχέδιό του. Τέλος, 3 μαθητές δήλωσαν ότι δεν μπορούν να φανταστούν τα σωματίδια ή ότι με έναν σούπερ μεγεθυντικό φακό δεν θα βλέπαμε τίποτα.

Να αναφέρουμε ότι στις εξηγήσεις μερικών μαθητών σημειώθηκαν οι εξής εναλλακτικές αντιλήψεις: α) εάν τα σωματίδια ενωθούν θα προκύψει στερεό ή υγρό και β) τα σωματίδια του οξυγόνου έχουν γαλάζιο χρώμα.

Αναφορικά με την κατασκευή της συμβολικής αναπαράστασης 6 μαθητές ήταν επιτυχείς οι οποίοι έγραψαν τον πλήρη συμβολισμό «$O_{2(g)}$», ενώ 4 μαθητές δεν γνώριζαν το συμβολισμό της αέριας κατάστασης και έγραψαν μόνο «O_2». Οι συμβολισμοί που χρησιμοποίησαν οι υπόλοιποι μαθητές ήταν οι εξής: α) «$O_2\uparrow$», β) «O», γ) «O↑» και δ) «O^2», ενώ ένας μαθητής δήλωσε ότι δεν μπορεί να γράψει κανένα συμβολισμό. Να σημειωθεί ότι από τους 12 μαθητές που έγραψαν το Μ.Τ. «O_2» μόνο οι 6 γνώριζαν τη σωστή ερμηνεία του δείκτη «2». Ένας μαθητής είπε πώς η σημασία είναι ότι: *«έχει 2 μόρια οξυγόνου»*, ενώ οι υπόλοιποι δήλωσαν ότι δεν ξέρουν τη σημασία του.

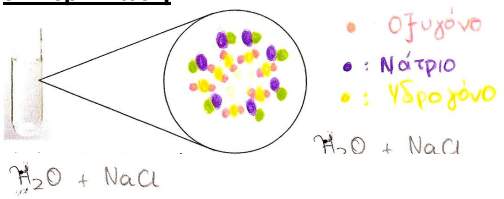
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ανάμεσα στην ικανότητα κατασκευής μιας μικροσκοπικής και μιας συμβολικής αναπαράστασης. Οι μαθητές ακόμα και αν γνωρίζουν τη συμβολική αναπαράσταση του οξυγόνου δεν είναι πάντα σε θέση να την κατανοήσουν εννοιολογικά ή να τη μεταφράσουν στα αντίστοιχα σωματίδια που αυτή συμβολίζει. Επίσης, είναι εμφανής η αδυναμία μερικών μαθητών να εφαρμόσουν τη σωματιδιακή θεωρία της ύλης και να χρησιμοποιήσουν αντίστοιχους χημικούς όρους, όπως «άτομο» και «μόριο» για να εξηγήσουν ή να περιγράψουν μία μικροσκοπική ή μία συμβολική αναπαράσταση.

8.2.5 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «υδατικού διαλύματος χλωριούχου νατρίου»

Το 5^{ο} υλικό για το οποίο ζητήθηκε από τους μαθητές να κατασκευάσουν μία μικροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση ήταν ένα υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου. Το υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου είναι ένα μίγμα νερού και χλωριούχου νατρίου, στο οποίο περιέχονται μόρια νερού, ιόντα χλωρίου και ιόντα νατρίου. Συνεπώς, η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση πρέπει να αποτελείται από 4 είδη κύκλων, από τους οποίους ο ένας θα απεικονίζει τα ιόντα χλωρίου, ο 2^{ος} τα ιόντα νατρίου, ο 3^{ος} τα άτομα του οξυγόνου, ο 4^{ος} τα άτομα του υδρογόνου. Τα άτομα του οξυγόνου πρέπει να είναι ενωμένα με τα άτομα του υδρογόνου με αναλογία 1:2. Στον πίνακα 8.5 παρουσιάζονται οι κωδικοποιημένες απαντήσεις των μαθητών και στο παράρτημα VII (πίνακας 5, σελ. 249) παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών.

Η οπτικοποίηση και η κατασκευή της αντίστοιχης μικροσκοπικής αναπαράστασης για το παραπάνω υλικό δυσκόλεψε ιδιαίτερα τους μαθητές, ενώ ενδεικτικό είναι ότι κανένας μαθητής δεν κατασκεύασε μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μόνο 7 από τους 16 μαθητές αναγνώρισαν την παρουσία του νερού ως συστατικό του διαλύματος. Τα σχέδια των μαθητών περιλάμβαναν τα εξής λάθη: α) Ο μαθητής σχεδίασε σωστά τα μόρια του νερού, αλλά θεώρησε ότι μέσα στο νερό βρίσκονται διαλυμένα «άτομα νατρίου» και «άτομα χλωρίου». β) Ο μαθητής σχεδίασε σωστά τα μόρια του νερού, αλλά θεώρησε ότι μέσα σε αυτό βρίσκονται διαλυμένα «μόρια χλωριούχου νατρίου». γ) Ο μαθητής σχεδίασε λάθος τα μόρια του νερού, με αναλογία οξυγόνου προς υδρογόνο ίση με 2:1 και θεώρησε ότι μέσα στο νερό βρίσκονται διαλυμένα «μόρια χλωριούχου νατρίου», όπως φαίνεται στο σχήμα και στην εξήγηση του μαθητή που ακολουθούν:

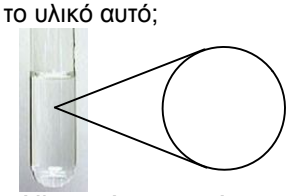
5^{η} περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Πιστεύω ότι το νερό και το χλωριούχο νάτριο μας δίνει αυτό το διάλυμα. Οπότε τα προσθέτουμε, δεν είναι ενωμένα.»

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;

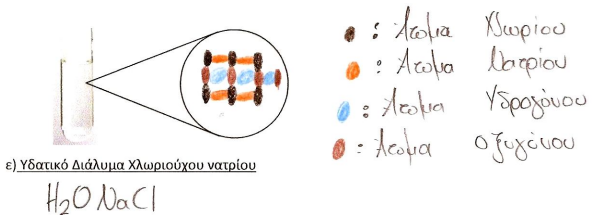


Υδατικό Διάλυμα Χλωριούχου νατρίου

Περ.	Είδη Σωματιδίων	Σχεδιάζουν το νερό;	Ονομασία Σωματιδίων	Διάταξη Σωματιδίων	Συμβολική Αναπαρ/ση
$1^{η}$	1 είδος γραμμών	Όχι	Μόριο χλωριούχου νατρίου	Κοντά, με τάξη	HℓNα
$2^{η}$	2 είδη κύκλων	Όχι	Μόρια: νατρίου & χλωρίου	Πυκνή, σαν πλέγμα	$NaCℓ_{2(ℓ)}$
$3^{η}$	2 είδη κύκλων	Όχι	Μόρια: νατρίου & χλωρίου	Αραιά, σαν μίγμα	$NaCℓ_{(ℓ)}$
$4^{η}$	1 είδος κύκλων & 1 είδος τετραγώνων	Όχι	Νάτριο & Χλώριο	Πυκνή, ενωμένα μεταξύ τους, σαν πλέγμα	(NaCℓ, προφορικά)
$5^{η}$	4 είδη κύκλων	Ναι	Οξυγόνο, Νάτριο & Υδρογόνο	Μόρια νερού & χλωριούχου νατρίου. Αραιά, σαν μίγμα	H_2O + NaCℓ
$6^{η}$	2 είδη κύκλων	Όχι	-	Μόρια χλωριούχου νατρίου. Αραιά	$C\vec{H}Na$
$7^{η}$	-	-	-	-	HNaCℓ
$8^{η}$	1 είδος κύκλων & Σταγόνες νερού	Ναι	Σταγόνα νερού & Μικρά σωματίδια χλωριούχου νατρίου	Σταγόνες κολλητά μεταξύ τους, περιέχουν σωματίδια	H_2O + NaCℓ
$9^{η}$	3 είδη κύκλων	Όχι	Χλώριο, Νάτριο & Άλλες ουσίες	Κοντά, σαν μίγμα	-
$10^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Νάτριο & Νερό	Εφάπτονται, σαν πλέγμα	Cℓ, Na, H_2O
$11^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Χλώριο	Αραιά, σαν μίγμα	CℓNa (↓)
$12^{η}$	4 είδη κύκλων	Ναι	Άτομα: χλωρίου & νατρίου, Μόριο νερού	Μόρια νερού, άτομα χλωρίου & νατρίου. Αραιά, σαν μίγμα	$NaCℓ_{(aq)}$
$13^{η}$	4 είδη κύκλων	Ναι	Μόρια: χλωριούχου νατρίου & νερού	Μόρια νερού & χλωριούχου νατρίου. Αραιά, σαν μίγμα	$H_2O_{(ℓ)}$+$NaCℓ_{(ℓ)}$
$14^{η}$	4 είδη κύκλων	Ναι	Ιόντα: υδρογόνου, οξυγόνου, νατρίου, χλωρίου	Αραιά & Πυκνά	$NaCℓ_{(aq)}$
$15^{η}$	2 είδη κύκλων	Όχι	Ιόν νατρίου & Ιόν χλωρίου	Αραιά, σαν μίγμα	Na^+, $Cℓ^-$
$16^{η}$	4 είδη κύκλων	Ναι	Άτομα: χλωρίου, νατρίου, υδρογόνου & οξυγόνου	Πυκνή, σαν πλέγμα	H_2ONaCℓ

δ) Ο μαθητής σχεδίασε ένα μικτό πλέγμα από «άτομα χλωρίου», «άτομα νατρίου», «άτομα υδρογόνου» και «άτομα οξυγόνου»:

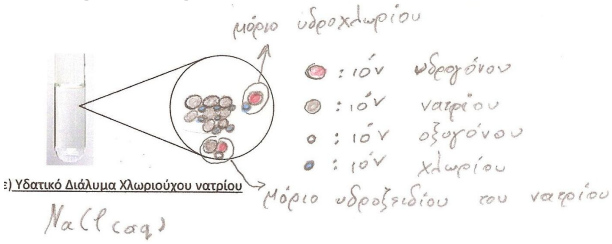
16η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Έβαλα πάλι το χλωριούχο νάτριο … και ανάμεσά του το νερό, δηλαδή θα 'ναι κάπως σα στρώσεις … μπορεί και να συνεχιζόταν εδώ το νερό … θα είχανε αναμιχθεί … (το χλωριούχο νάτριο) επειδή διαλύεται με το νερό θα χάσει τη μορφή όπως την έχει και ότι θα είναι ένα ανακάτεμα …»

ε) Ο μαθητής θεωρεί ότι γίνεται χημική αντίδραση με αποτέλεσμα το σχηματισμό υδροχλωρίου και υδροξειδίου του νατρίου και σχεδίασε τα αντίστοιχα σωματίδια:

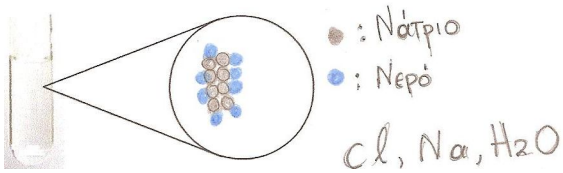
14η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «… όταν το ρίξαμε αυτό διαλύθηκε μετά από κάποια στιγμή. Οπότε, ενώ είχαμε τον κρύσταλλο αυτόν, σιγά-σιγά το νερό έπαιρνε κάποια κομμάτια … το υδρογόνο έπαιρνε το χλώριο για να κάνει υδροχλώριο … από το μόριο του νερού φεύγει το ένα υδρογόνο … πάει και ξεκολλάει κάπως από αυτό τον δεσμό το χλώριο για να γίνει υδροχλώριο, ενώ από ένα άλλο νερό φεύγει ένα υδρογόνο και ένα οξυγόνο, δηλαδή υδροξείδιο πρακτικά, και παίρνει το νάτριο για να κάνουν υδροξείδιο του νατρίου.»

στ) Ο μαθητής σχεδίασε δύο είδη κύκλων με πυκνή διάταξη να εφάπτονται μεταξύ τους ως πλέγμα, τους οποίους ονόμασε «νερό» και «νάτριο» και απέδωσε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στα σωματίδια αναφορικά με το σχήμα της διάταξης που σχηματίζουν:

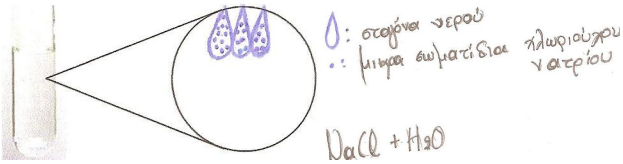
10η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Κάποια σωματίδια ενωμένα το ένα με το άλλο σε χρώμα γκρι … (Το σκέφτηκα) από το σχήμα … είδα ότι είναι κάπως ορθογώνιο το σχήμα, το μπουκάλι που βρίσκεται μέσα, οπότε παίρνει το σχήμα του μπουκαλιού … Εφάπτονται επειδή είναι υγρό … Υπάρχει νερό επειδή είναι υγρό και διαφανή.»

ζ) Ο μαθητής σχεδίασε σταγόνες νερού κολλητά μεταξύ τους, οι οποίες περιείχαν ένα είδος σωματιδίων τα οποία ονόμασε «μικρά σωματίδια χλωριούχου νατρίου». Η εξήγηση δείχνει έλλειψη κατανόησης της σωματιδιακής φύσης της ύλης:

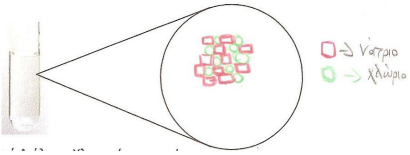
8η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «… μέσα στο νερό πολύ μικροί κόκκοι άλατος … είναι σταγόνες νερού και μέσα σε αυτές τις σταγόνες περιέχονται μικρά σωματίδια άλατος χλωριούχου νατρίου … δεν μπορεί να διαλυθεί πλήρως και θα έχουν ίσως κάποια μικρά σωματίδια …»

Τα σχέδια των μαθητών που δεν αναγνώρισαν το νερό περιέχουν τα παρακάτω λάθη: α) Σχεδίασαν δύο είδη κύκλων αραιά μεταξύ τους σαν μίγμα, τους οποίους ονόμασαν «ιόν νατρίου» & «ιόν χλωρίου» ή «μόριο νατρίου» & «μόριο χλωρίου». β) Ένας μαθητής σχεδίασε ένα είδος κύκλων και ένα είδος τετραγώνων ενωμένα με πυκνή διάταξη μεταξύ τους σαν πλέγμα, τους οποίους ονόμασε «νάτριο» και «χλώριο». Ο μαθητής διατύπωσε την εναλλακτική αντίληψη ότι το νάτριο διαλύεται μέσα στο χλώριο, όπως φαίνεται από το σχήμα και την εξήγηση που ακολουθεί:

4η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Έχω σχεδιάσει ανάκατα τετραγωνάκια νατρίου και κύκλους χλωρίου, οι οποίοι ενώνονται … ένα χλώριο να συνδέεται τουλάχιστον με δύο νάτρια … σαν να έχει διαλυθεί το νάτριο μέσα στο χλώριο και να έχουν κάνει αυτή την ένωση … όταν θα το δούμε δεν θα είναι τετράγωνο ή κύκλος αλλά σίγουρα θα έχουν διαφορετικό σχήμα … Πρέπει να είναι πάνω κάτω ίσα τα άτομα του νατρίου με του χλωρίου … 1 προς 1.»

γ) Ένας μαθητής σχεδίασε δύο είδη κύκλων, ενωμένους ανά δύο ως μόρια και σε αραιή διάταξη, τους οποίους δεν ήταν σε θέση να ονομάσει. δ) Ένας μαθητής σχεδίασε τρία είδη κύκλων, κοντά μεταξύ τους ως μίγμα, τους οποίους ονόμασε «χλώριο», «νάτριο» και «άλλες ουσίες». ε) Ένας μαθητής σχεδίασε ένα είδος κύκλων, αραιά μεταξύ τους ως μίγμα, τους οποίους ονόμασε «χλώριο». στ) Ένας μαθητής σχεδίασε το ίδιο με το στερεό χλωριούχο νάτριο και δήλωσε ότι δεν ξέρει τη διαφορά στο υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου. ζ) Ένας μαθητής δήλωσε ότι δεν μπορεί να το φανταστεί τα σωματίδια του υλικού αυτού, αλλά αν έπρεπε να το σχεδιάσει θα το σχεδίαζε όπως το νερό επειδή είναι σε υγρή μορφή. Ο μαθητής σχεδίασε ένα είδος γραμμών, κοντά μεταξύ τους και με τάξη, τις οποίες ονόμασε «μόριο χλωριούχου νατρίου». Τέλος, ένας μαθητής θεωρεί ότι με έναν σούπερ μεγεθυντικό φακό δεν θα βλέπαμε τίποτα.

Αναφορικά με την ικανότητα κατασκευής μίας συμβολικής αναπαράστασης για το υδατικό διάλυμα του χλωριούχου νατρίου μόνο 2 μαθητές έγραψαν το

σωστό συμβολισμό «$NaC\ell_{(aq)}$». Οι υπόλοιποι χρησιμοποίησαν συμβολισμούς όπως: α) «$NaC\ell_{(\ell)}$», χρησιμοποιώντας το συμβολισμό του υγρού (ℓ) επειδή το υδατικό διάλυμα είναι υγρό, β) «$NaC\ell_{2(\ell)}$», γ) «$C\ell Na$ (↓)», διότι το «↓» συμβολίζει το υγρό, δ) «$H_2O + NaC\ell$», ε) «$H_2O_{(\ell)} + NaC\ell_{(\ell)}$», στ) «$H_2ONaC\ell$», ζ) «$C\ell$, Na, H_2O», η) «Na^+, $C\ell^-$», γιατί στο υδατικό διάλυμα είναι ξεχωριστά τα ιόντα, θ) «$HNaC\ell$», θεωρώντας ότι το «H» συμβολίζει το νερό, ι) «$C\vec{H}Na$», θεωρώντας ότι το βελάκι πάνω από το «H» συμβολίζει το υδατικό διάλυμα και ια) «$H\ell Na$», θεωρώντας ότι το «$H\ell$» συμβολίζει το χλώριο.

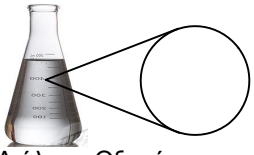
8.2.6 Ικανότητα οπτικοποίησης & συμβολισμού του «υδατικού διαλύματος οξυγόνου»

Το τελευταίο υλικό για το οποίο ζητήθηκε από τους μαθητές να κατασκευάσουν μία μικροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση είναι ένα υδατικό διάλυμα οξυγόνου. Το υδατικό διάλυμα οξυγόνου είναι ένα μίγμα νερού και οξυγόνου, στο οποίο περιέχονται μόρια νερού και διατομικά μόρια οξυγόνου. Συνεπώς, η αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση πρέπει να αποτελείται από δύο είδη κύκλων (άτομα οξυγόνου και υδρογόνου), τα οποία να σχηματίζουν μόρια νερού (δύο είδη κύκλων ενωμένοι με αναλογία 1:2) και μόρια οξυγόνου (ένα είδος κύκλων ενωμένοι ανά δύο). Στον πίνακα 8.6 παρουσιάζονται κωδικοποιημένες οι απαντήσεις των μαθητών και στο παράρτημα VII (πίνακας 6, σελ. 250) παρουσιάζονται τα σχέδια των μαθητών.

Μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση κατασκεύασαν 3 μαθητές, ενώ μόνο 8 μαθητές σχεδίασαν σωματίδια για το νερό. Τα βασικά λάθη που παρατηρήθηκαν στις αναπαραστάσεις των μαθητών που σχεδίασαν το νερό είναι τα εξής: α) Ένας μαθητής σχεδίασε τα μόρια του νερού με αναλογία οξυγόνου προς υδρογόνο 2:1 και σχεδίασε τα σωματίδια του οξυγόνου με έναν μόνο κύκλο, ως άτομα. Οι ονομασίες που χρησιμοποίησε ήταν «υδρογόνο» και «οξυγόνο». β) Ένας μαθητής σχεδίασε μία πυκνή διάταξη στην οποία ένωσε μόρια νερού και άτομα οξυγόνου και σημείωσε ότι η

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6: Κωδικοποιημένες απαντήσεις για τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα οξυγόνου».

Να σχεδιάσετε πώς φαντάζεστε τα σωματίδια του παρακάτω υλικού χρησιμοποιώντας χρωματιστούς κύκλους για το καθένα από αυτά. Πώς νομίζετε ότι θα συμβόλιζε ένας χημικός το υλικό αυτό;

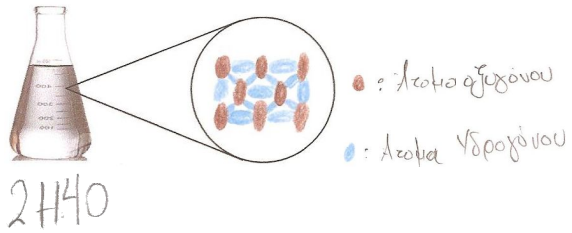


Υδατικό Διάλυμα Οξυγόνου

Περ.	***Είδη Σωματιδίων***	***Σχεδιάζουν το νερό;***	***Ονομασία Σωματιδίων***	***Διάταξη Σωματιδίων***	***Συμβολική Αναπαρ/ση***
$1^{η}$	1 είδος κύκλων & 1 είδος γραμμών	Ναι	Μόριο οξυγόνου & Μόριο νερού	Ενωμένα ανά 4 (2 κυκλάκια - 2 γραμμές)	H_2O
$2^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Μόριο οξυγόνου	Ενωμένα, σαν πλέγμα	$O_{2(\ell)}$
$3^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Μόριο οξυγόνου	Αραιά, σαν μίγμα	$O_{2(\ell)}$
$4^{η}$	1 είδος κύκλων & 1 είδος ωοειδούς σωματιδίου	Ναι	Νερό & Οξυγόνο	Ενωμένα μεταξύ τους, σαν πλέγμα	-
$5^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Οξυγόνο & Υδρογόνο	Μόρια νερού & άτομα οξυγόνου. Αραιά, σαν μίγμα	$H_2O + O^2$
$6^{η}$	*(στην τύχη)*	Όχι	-	-	-
$7^{η}$	-	-	-	-	H_2OH
$8^{η}$	Σταγόνες νερού	Ναι	Σταγόνα νερού	Σταγόνες κολλητά μεταξύ τους	$O_2 + H_2O$
$9^{η}$	*(στην τύχη)*	Όχι	-	-	-
$10^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Οξυγόνο	Εφάπτονται, σαν πλέγμα	$H_2O + O$
$11^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Οξυγόνο	Αραιά, σαν μίγμα	O (↓)
$12^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Άτομο οξυγόνου & Μόριο νερού	Μόρια νερού & μόρια οξυγόνου. Αραιά, σαν μίγμα	$O_{2(aq)}$
$13^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Άτομο οξυγόνου, Άτομο υδρογόνου Μόριο νερού & Μόριο οξυγόνου	Μόρια νερού & μόρια οξυγόνου. Αραιά, σαν μίγμα	$H_2O_{(\ell)} + O_{2(\ell)}$
$14^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Μόριο νερού & Μόριο οξυγόνου	Μόρια νερού & μόρια οξυγόνου. Αραιά, σαν μίγμα	$O_{2(aq)}$
$15^{η}$	1 είδος κύκλων	Όχι	Ιόν οξυγόνου	Αραιά, σαν μίγμα	O^-
$16^{η}$	2 είδη κύκλων	Ναι	Άτομο υδρογόνου & Άτομο οξυγόνου	Πυκνή, σαν πλέγμα	2H4O

σύσταση των μορίων νερού έχει μεταβληθεί:

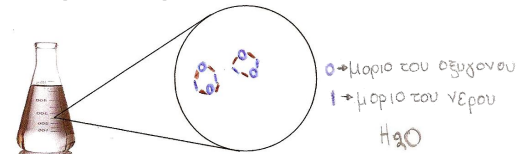
16η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Εδώ έχω βάλει … λίγο παραπάνω οξυγόνο από πριν, δεν είναι σκέτο νερό, αλλά γενικά έχω βάλει περισσότερο νερό και περισσότερο οξυγόνο. Στο νερό, θα έχουμε παραπάνω οξυγόνο. Δηλαδή μπορεί να είναι 2 υδρογόνα 4 οξυγόνα ... θα υπάρχουν και ενδιάμεσα ίσως κάποια οξυγόνα παραπάνω. Και μπορεί να κολλάει, ας πούμε ένα οξυγόνο να κολλάει, να έχουμε 1 μόριο υδρογόνου - 3 οξυγόνου ή αντίστοιχα 2 νερά - 1 οξυγόνο.»

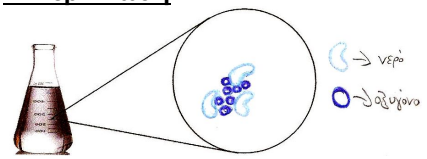
γ) Δύο μαθητές θεωρούν ότι το νερό ενώνεται με το οξυγόνο. Ο μαθητής της 1ης περίπτωσης σχεδίασε τα μόρια του νερού με γραμμές και τα μόρια του οξυγόνου με κύκλους και σχημάτισε ομάδες στις οποία ένωσε δύο κύκλους εναλλάξ με δύο γραμμές. Ο μαθητής της 4ης περίπτωσης σχεδίασε τα σωματίδια του νερού με ωοειδές σχήμα και το οξυγόνο με κύκλους και σχημάτισε μία πυκνή διάταξη ως πλέγμα, όπως φαίνεται παρακάτω:

1η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Έχω σχεδιάσει μόρια οξυγόνου μαζί με νερό επειδή είναι σε υγρή μορφή … είναι ενωμένα μεταξύ τους.»

4η περίπτωση



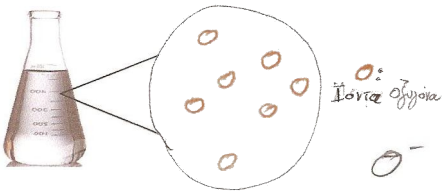
Εξήγηση μαθητή: «… είναι μία ένωση νερού και οξυγόνου … ενώνονται ένα μόριο νερού εεε … ένα άτομο νερού με 2 ή 3 κυκλάκια οξυγόνου … το νερό είναι κάπως σαν φασόλι, αλλά μη με ρωτήσετε γιατί … κάπως έτσι το φαντάζομαι… »

ε) Ένας μαθητής σχεδίασε μόνο το νερό με μορφή σταγόνων κολλητά μεταξύ τους και εξήγησε την απάντησή του ως εξής: *«…το οξυγόνο είναι αέριο άρα δεν θα είχε κάποια αλλαγή στην μορφή του νερού. Θα ήταν νερό με ίσως λίγο διαφορετικό χρώμα ή γεύση ή κάτι τέτοιο».* Ο μαθητής αδυνατεί να οπτικοποιήσει τη σωματιδιακή φύση της ύλης και γι' αυτό σχεδιάζει το νερό μακροσκοπικά με σταγόνες, ενώ αδυνατεί να φανταστεί τα σωματίδια του οξυγόνου το οποίο δεν είναι αντιληπτό με την όραση.

Οι αναπαραστάσεις των μαθητών που δεν σχεδίασαν το νερό περιείχαν τα παρακάτω λάθη: α) Ένας μαθητής σχεδίασε ένα είδος κύκλων τους οποίους ονόμασε «ιόν οξυγόνου. Όπως φαίνεται από την εξήγησή του ο μαθητής

θεωρεί ότι κάθε ουσία που διαλύεται στο νερό διασπάται σε ιόντα και παρόλο που αναγνωρίζει το νερό δεν σχεδιάζει τα αντίστοιχα σωματίδια.

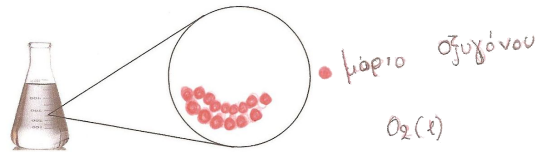
15η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «…έχουμε βάλει αέριο οξυγόνο στο νερό και έχει διαλυθεί … επομένως θα είναι πάλι όπως πάνω, θα έχουν χωριστεί οι δεσμοί του οξυγόνου και θα είναι ελεύθερα άτομα.»

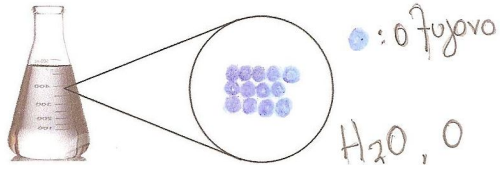
β) Δύο μαθητές σχεδίασαν ένα είδος κύκλων ανεξάρτητα τον ένα από τον άλλο και αραιά, τους οποίους ονόμασαν «μόριο οξυγόνου» ή «οξυγόνο». Οι μαθητές διατύπωσαν την εναλλακτική αντίληψη ότι το υδατικό διάλυμα ισοδυναμεί με την υγρή μορφή του οξυγόνου και γι' αυτό τα σωματίδια είναι αραιά μεταξύ τους. Επίσης, ο ένας από αυτούς συμπλήρωσε ότι το οξυγόνο περιέχει κάποιο στοιχείο αέρα μέσα και γι' αυτό έχει αφήσει κάποια απόσταση μεταξύ των σωματιδίων. γ) Δύο μαθητές σχεδίασαν ένα είδος κύκλων με πυκνή διάταξη ως πλέγμα. Ο ένας μαθητής (2η περίπτωση) δήλωσε ότι δεν ξέρει τη διαφορά για το «υδατικό» και ο άλλος μαθητής (10η περίπτωση) απέδωσε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στα σωματίδια συσχετίζοντας το χρώμα τους με το χρώμα της ουσίας και τη διάταξή τους με το σχήμα του δοχείου. Ακολουθούν τα σχέδια και οι εξηγήσεις αυτών των μαθητών:

2η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Πάλι δεν ξέρω τη διαφορά για το υδατικό … έβαλα μόνο μόρια οξυγόνου ενωμένα.»

10η περίπτωση



Εξήγηση μαθητή: «Πάλι σχετικά με το σχήμα που έχει το δοχείο … μπορεί να μην τα έκανα γκρι να τα έκανα γαλάζια γιατί λέει διάλυμα οξυγόνου … στην αρχή έβαλα γκρι γιατί είδα την εικόνα που είναι λίγο σκούρα … Προσπαθώ να σχηματίσω το περίβλημα του δοχείου.»

Τέλος, 2 μαθητές δήλωσαν ότι δεν μπορούν να φανταστούν τα σωματίδια στο υλικό που τους δείξαμε και ένας άλλος δήλωσε ότι δεν θα βλέπαμε τίποτα με έναν σούπερ μεγεθυντικό φακό.

Να σημειώσουμε τη μεγάλη δυσκολία που αντιμετωπίζουν πολλοί μαθητές στην περιγραφή των σωματιδίων που σχεδίασαν με κατάλληλους όρους, όπως «μόριο νερού», «άτομο οξυγόνου» κ.α.

Αναφορικά με την κατασκευή της συμβολικής αναπαράστασης για το υδατικό διάλυμα του οξυγόνου, τον πλήρη συμβολισμό «$O_{2(aq)}$» έγραψαν 2 μαθητές. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποίησαν οι υπόλοιποι μαθητές είναι οι εξής: α) «$H_2O_{(\ell)} + O_{2(\ell)}$», «$H_2O + O_2$», «$H_2O + O$», «$H_2O + O^2$», «$O_{2(\ell)}$», «$O^-$», «O↓», «$H_2O$», «2H4O», «$H_2OH$», ενώ 3 μαθητές δήλωσαν αδυναμία να γράψουν οποιονδήποτε συμβολισμό. Όπως φαίνεται, μερικοί από τους μαθητές που δεν έχουν τη γνώση για το δείκτη (aq) συμβολίζουν το υδατικό διάλυμα αναγράφοντας τους Μ.Τ. των δύο συστατικών και χρησιμοποιώντας το σύμβολο της πρόσθεσης «+». Πολλοί μαθητές δήλωσαν ότι έγραψαν τον τύπο του οξυγόνου (O_2) γιατί έτσι τον έχουν μάθει, χωρίς να μπορούν να τον εξηγήσουν, ενώ σημειώθηκε το λάθος ότι το βελάκι προς τα κάτω (↓) συμβολίζει το υγρό.

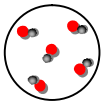
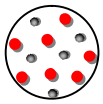
8.2.7 Ερμηνεία μικροσκοπικών αναπαραστάσεων για τις έννοιες «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» & «μίγμα»

Στη 2η φάση της συνέντευξης εδείχθησαν στους μαθητές 5 μικροσκοπικές αναπαραστάσεις για 5 υλικά και τους ζητήθηκε να χαρακτηρίσουν το κάθε υλικό ως «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» ή «μίγμα». Στον πίνακα 8.7 παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδοση των μαθητών ήταν αισθητά καλύτερη συγκριτικά με την ικανότητά τους να κατασκευάζουν οι ίδιοι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις (1η φάση). Αυτό δείχνει ότι είναι πιο εύκολο για τους μαθητές να ερμηνεύουν παρά να κατασκευάζουν μικροσκοπικές αναπαραστάσεις.

Οι σημαντικότερες εναλλακτικές αντιλήψεις που σημειώθηκαν για την έννοια της «χημικής ένωσης» είναι οι εξής: α) Όταν υπάρχουν ενωμένα άτομα, ανεξάρτητα αν είναι ίδια ή διαφορετικά, πρόκειται για «χημική ένωση», όπως για παράδειγμα στο σχέδιο (δ). β) Δεν παίζει ρόλο αν συνυπάρχουν ένα ή

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7: Χαρακτηρισμός μικροσκοπικών αναπαραστάσεων ως «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» ή «μίγμα».

Περιπτώσεις	**(α)**	 **(β)**	 **(γ)**	**(δ)**	**(ε)**
$1^η$, $2^η$, $4^η$, $12^η$, $13^η$, $15^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Μίγμα	Χημικό στοιχείο	Μίγμα
$3^η$, $6^η$, $7^η$, $10^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Μίγμα	Χημική ένωση	Χημική ένωση
$5^η$	Μίγμα	Χημική ένωση	Μίγμα	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση
$8^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Δεν ξέρω	Χημικό στοιχείο που είναι στερεό	Μίγμα
$9^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Χημικό στοιχείο	Δεν ξέρω	Μίγμα
$11^η$	Χημικό στοιχείο	Μίγμα	Μίγμα	Χημική ένωση	Μίγμα
$14^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Μίγμα	Χημική ένωση	Μίγμα
$16^η$	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Χημικό στοιχείο	Χημική ένωση	Μίγμα

περισσότερα διαφορετικά «πακέτα» ενωμένων ατόμων (μόρια) και γι' αυτό το σχέδιο (ε) είναι «χημική ένωση». γ) Όταν υπάρχουν χημικές ενώσεις τότε η ουσία χαρακτηρίζεται επίσης ως «χημική ένωση», ανεξάρτητα αν συνυπάρχουν και άλλα είδη ουσιών, όπως στο σχέδιο (ε).

Αναφορικά με την έννοια του «χημικού στοιχείου» σημειώθηκε η εναλλακτική αντίληψη ότι όταν τα άτομα δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους τότε πρόκειται για «χημικό στοιχείο», ανεξάρτητα αν συνυπάρχουν δύο διαφορετικά είδη ατόμων, όπως στο (γ).

Τέλος, για την έννοια του «μίγματος» μερικοί μαθητές πιστεύουν ότι: α) όταν συνυπάρχουν δύο είδη ατόμων τότε πρόκειται για «μίγμα», ανεξάρτητα αν αυτά είναι ενωμένα, όπως στο (β). β) Όταν τα άτομα είναι ίδια και δεν ενώνονται ούτε μεταξύ τους ούτε με άλλα άτομα τότε πρόκειται για «μίγμα», όπως στο σχέδιο (α).

Στη συνέχεια ζητήθηκε από τους μαθητές να διαλέξουν ποια από αυτές τις 5 μικροσκοπικές αναπαραστάσεις θα μπορούσε να απεικονίζει τα σωματίδια μιας αέριας ουσίας με Μ.Τ.: «HI». Η κατανομή των αποτελεσμάτων σε αυτήν τη μετάφραση από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο έχει ως εξής: 10 μαθητές απάντησαν το σχέδιο (β) και ήταν επιτυχείς, ενώ 6 μαθητές απάντησαν το σχέδιο (γ).

Η βασική εναλλακτική αντίληψη που ανιχνεύτηκε κατά την παραπάνω μετάφραση είναι ότι τα άτομα της αέριας ουσίας με Μ.Τ.: «HI». δεν θα είναι ενωμένα επειδή η ουσία είναι αέρια και γι' αυτό το αντίστοιχο σχέδιο είναι το (γ). Ανιχνεύθηκε, επίσης, η εναλλακτική αντίληψη ότι σωστά σχέδια είναι τόσο το (β) όσο και το (ε), γιατί και στο (ε) υπάρχουν σωματίδια που αντιστοιχούν στην ένωση με Μ.Τ.: «HI».

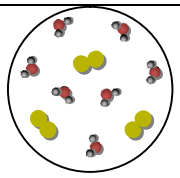
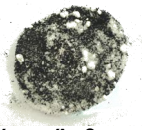
Να σημειωθεί ότι οι μαθητές είχαν μία γενική σύγχυση ή αδυναμία χρησιμοποίησης των όρων «άτομο», «μόριο» και «ένωση» κατά τις εξηγήσεις τους. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι μερικοί μαθητές απάντησαν σωστά στις ερωτήσεις της 2^{ης} φάσης, ενώ στην 1^{η} φάση διαπιστώθηκε ότι είχαν εναλλακτικές αντιλήψεις που αφορούσαν τις εξεταζόμενες έννοιες. Αυτό δείχνει ότι στις ερωτήσεις κλειστού τύπου της 2^{ης} φάσης απάντησαν διαισθητικά ή ερμηνεύοντας τις έννοιες «χημικό στοιχείο», «χημική ένωση» και «μίγμα» με βάση την λογική ή την ετυμολογία της λέξης, παρά βασισμένοι στις γνώσεις τους στη χημεία. Επίσης απάντησαν σωστά σε κάποιες τουλάχιστον ερωτήσεις, μαθητές οι οποίοι από την 1^{η} φάση διαπιστώθηκε ότι αδυνατούσαν να οπτικοποιήσουν με οποιονδήποτε τρόπο τη σωματιδιακή φύση της ύλης.

8.2.8 Μεταφράσεις «μικρο→μακρο» & «μικρο→συμβο» για την έννοια του «μίγματος»

Στην 3^{η} φάση της συνέντευξης ζητήθηκε από τους μαθητές να μεταφράσουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση ενός μίγματος στην αντίστοιχη μακροσκοπική αναπαράσταση και στη συνέχεια στην αντίστοιχη συμβολική αναπαράσταση, εξηγώντας σε κάθε περίπτωση το συλλογισμό τους. Στους πίνακες 8.8 και 8.9 παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών.

Αναφορικά με τη μετάφραση «μικρο→μακρο», τη σωστή απάντηση (β) επέλεξαν 6 μαθητές, την απάντηση (δ) επέλεξαν 6 μαθητές, την απάντηση (γ) επέλεξαν 3 μαθητές και την απάντηση (α) επέλεξε 1 μαθητής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→μακρο» μετάφραση ενός μίγματος.

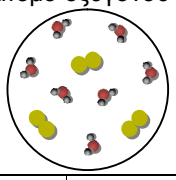
	 Ποια από τις παρακάτω φωτογραφίες αντιστοιχεί στο παραπάνω σχέδιο:			
	α) Διάλυμα Υδροχλωρίου	β) Διάλυμα Βρωμίου	γ) Μίγμα Θείου-Σιδήρου	δ)  Μίγμα Άνθρακα-Χλωριούχου καλίου
Περιπτώσεις:	5	3, 12, 13, 14, 15, 16	1, 8, 11	2, 4, 6, 7, 9, 10

Οι λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών σε συνδυασμό με την επεξήγηση του συλλογισμού τους αποκάλυψαν σημαντικές εναλλακτικές αντιλήψεις. Μερικοί μαθητές αντιστοιχίζουν απ' ευθείας τον αριθμό των διαφορετικών ατόμων στη μικροσκοπική αναπαράσταση με τις ονομασίες των στοιχείων που περιέχονται στις λεζάντες. Δηλαδή, θεωρούν ότι επειδή στη μικροσκοπική αναπαράσταση απεικονίζονται τρία είδη κύκλων αυτά αντιστοιχούν σε τρία χημικά στοιχεία που έχουν τρία διαφορετικά ονόματα. Έτσι, θεωρούν ότι η αντίστοιχη μακροσκοπική αναπαράσταση είναι το «μίγμα άνθρακα-χλωριούχου καλίου» γιατί είναι το μόνο που στην ονομασία του περιέχει ονόματα τριών χημικών στοιχείων. Οι μαθητές αυτοί εξήγησαν ότι αντίστοιχα το «μίγμα θείου-σιδήρου» περιέχει δύο χημικά στοιχεία, το «διάλυμα υδροχλωρίου» περιέχει ένα ή δύο στοιχεία και το «διάλυμα βρωμίου» περιέχει ένα στοιχείο. Τα λάθη στις παραπάνω περιπτώσεις είναι τα εξής: α) Δεν έλαβαν υπόψη τον τρόπο με τον οποίο είναι ενωμένα τα άτομα στο σχέδιο. Δηλαδή, εάν διαφορετικά άτομα είναι ενωμένα και σχηματίζουν μία χημική ένωση τότε είναι πιθανό η ονομασία της ένωσης να μην αποτελείται από τα ονόματα των στοιχείων, όπως για παράδειγμα στο νερό και στο υδροχλώριο. β) Δεν αναγνώρισαν ότι το διάλυμα μίας ουσίας περιέχει τουλάχιστον δύο συστατικά, το διαλύτη (π.χ. νερό) και τη διαλυμένη ουσία (π.χ. βρώμιο ή υδροχλώριο).

Μία δεύτερη εναλλακτική αντίληψη που ανιχνεύτηκε είναι ότι κάποιοι μαθητές συσχετίζουν το χρώμα των κύκλων με το χρώμα της ουσίας. Έτσι, θεωρούν ότι η σωστή απάντηση είναι είτε η (β) είτε η (γ), διότι υπάρχει κίτρινο χρώμα στη φωτογραφία που αντιστοιχεί στα κίτρινα κυκλάκια του σχήματος. Να σημειωθεί ότι η (β) είναι πράγματι η σωστή απάντηση, αλλά οι συνεντεύξεις αποκάλυψαν ότι δεν επιλέγεται πάντα για το σωστό λόγο. Επίσης, ένας μαθητής επέλεξε την απάντηση (δ) διότι περιέχει τόσο πρασινοκίτρινο όσο και γκρι χρώμα που έχουν οι κύκλοι στο σχήμα, ενώ απέρριψε αφενός το (γ) γιατί είναι πολύ έντονο το κίτρινο και αφετέρου το (β) γιατί περιέχει μόνο κίτρινο και όχι γκρι χρώμα.

Μία τρίτη εναλλακτική αντίληψη που σημειώθηκε είναι ότι το υλικό θα πρέπει να είναι στερεό, διότι τα άτομα είναι ενωμένα στη μικροσκοπική αναπαράσταση, ενώ ένας άλλος μαθητής υποστήριξε ότι για τον παραπάνω λόγο το υλικό θα πρέπει να είναι υγρό. Τέλος, καταγράφτηκε και η άποψη ότι οι κίτρινες σφαίρες αντιστοιχούν στο χλώριο, διότι αυτό έχει την ιδιότητα να αλλάζει το χρώμα των δεικτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→συμβο» μετάφραση ενός μίγματος.

	Εάν η εικόνα απεικονίζει τα σωματίδια ενός **υδατικού διαλύματος βρωμίου,** ποια από τα παρακάτω χημικά σύμβολα χρησιμοποιούμε για το διάλυμα αυτό; (*στην εικόνα ο κάθε χρωματιστός κύκλος απεικονίζει αντίστοιχα:* ●: άτομο υδρογόνου ●: άτομο οξυγόνου ●: άτομο βρωμίου) 			
	α) $Br_{2(\ell)}$	β) $Br_{2\,(aq)}$	γ) $Br_2\,H_2O_{\,(aq)}$	δ) Br_2 και H_2O
Περιπτώσεις:	3	4, 9, 12, 14, 15, 16	1, 2, 5, 6, 7, 10, 11	8, 13

Αναφορικά με τη μετάφραση «μικρο→συμβο» (πίνακας 8.9), τη σωστή απάντηση (β) επέλεξαν 6 μαθητές, ενώ 7 μαθητές απάντησαν το (γ), 2 μαθητές το (δ) και 1 μαθητής το (γ). Να σημειωθεί ότι επιτυχείς και στις δύο μεταφράσεις («μικρο→συμβο» και «μικρο→μακρο») ήταν 4 μαθητές. Οι συνεντεύξεις έδειξαν ότι σε αρκετές περιπτώσεις υπήρχε άγνοια της ερμηνείας του δείκτη «aq», ενώ κάποιοι μαθητές γνώριζαν ότι ο παραπάνω δείκτης

χρησιμοποιείται για το υδατικό διάλυμα, αλλά αυτό δεν το συσχέτιζαν με την παρουσία του νερού. Συνεπώς, είτε δεν γνώριζαν τι είναι το υδατικό διάλυμα είτε δεν γνώριζαν ότι ο δείκτης εμπεριέχει την πληροφορία για την παρουσία του νερού στο διάλυμα, η οποία δεν χρειάζεται να επαναληφθεί. Να σημειωθεί ότι υπήρχαν μαθητές που συμπέραναν τη σημασία του δείκτη «aq» χωρίς να τη γνωρίζουν «εκ των προτέρων».

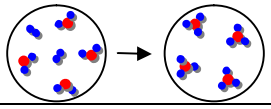
Οι εναλλακτικές αντιλήψεις που αποκαλύφθηκαν κατά την επεξήγηση των απαντήσεων είναι οι εξής: α) Μερικοί μαθητές ταυτίζουν το υδατικό διάλυμα με την υγρή κατάσταση και γι' αυτό επιλέγουν το δείκτη «ℓ» και την απάντηση (α). β) Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι ο δείκτης «aq» συμβολίζει την υγρή κατάσταση. γ) Μερικοί μαθητές δεν δίνουν καμία σημασία στο δείκτη «aq» και δεν τον λαμβάνουν υπόψη. δ) Σημειώθηκε η άποψη ότι το «aq» συμβολίζει το υδρογόνο και το «H_2O» συμβολίζει το οξυγόνο. Τέλος, να σημειωθεί ότι 3 μαθητές (περιπτώσεις 6, 9 και 10) δεν μπορούσαν να εξηγήσουν την απάντησή τους και δήλωσαν ότι απάντησαν διαισθητικά.

8.2.9 Μετάφραση «μικρο→συμβο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Στην 4η φάση της συνέντευξης ζητήθηκε από τους μαθητές να μεταφράσουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση μίας χημικής αντίδρασης στην αντίστοιχη συμβολική χημική εξίσωση και να εξηγήσουν το συλλογισμό τους. Στον πίνακα 8.10 παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών.

Από τους 16 μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα, μόνο 4 ήταν σε θέση να επιτύχουν τη μετάφραση, ενώ 6 μαθητές δήλωσαν αδυναμία να γράψουν οποιαδήποτε χημική εξίσωση και δεν μπορούσαν να καταλάβουν τι είναι «χημική εξίσωση». Οι αναπαραστάσεις των υπολοίπων μαθητών φανερώνουν τις παρακάτω εναλλακτικές αντιλήψεις: α) Προκειμένου μία χημική εξίσωση να είναι ισοσταθμισμένη γράφουν λάθος Μ.Τ. για κάποιο αντιδρών ή προϊόν (π.χ. γράφουν «O» αντί για «O_2»). β) Προκειμένου

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10: Οι απαντήσεις των μαθητών στη «μικρο→συμβο» μετάφραση μιας χημικής αντίδρασης.

Ποια είναι η συμβολική αναπαράσταση της αντίδρασης:  *Δίνονται οι συμβολισμοί:* : άτομο θείου (S) : άτομο οξυγόνου (O)			
Περ.	«S_3O, S_2O»	**Περ.**	«$SO_2 + O_2 + SO_2 + O_2 + SO_2 + SO_2 \rightarrow SO_3 + SO_3 + SO_3 + SO_3$»
$1^η$	*«… δεν μπορώ»*	$7^η$	
$2^η$	«$SO_2 + O \rightarrow SO_3$»	$11^η$	«$S_4O_{12(aq)} \rightarrow S_4O_{12}$»
$3^η$, $8^η$, $9^η$ $10^η$	*«Δεν ξέρω»*	$12^η$, $14^η$	«$SO_2 + ½ O_2 \rightarrow SO_3$»
$4^η$	«$SO_3 \rightarrow S_4O_{12}$» *(του ζήτησα να συμπεριλάβει τα αντιδρώντα και δήλωσε αδυναμία)*	$13^η$	«$2 SO_2 + O_2 \rightarrow 2 SO_3$»
$5^η$	«$SO_2 + O_2 \rightarrow SO_2$»	$15^η$	«$4 SO_2 + 2 O_2 \rightarrow 4 SO_3$»
$6^η$	«S + OH» *«… δεν ξέρω πώς θα είναι»*	$16^η$	«$S_4O_2 + 2 O_2 \rightarrow S_44O_3$»

να απεικονίσουν τα μόρια του διοξειδίου του θείου γράφουν «S_4O_2» αντί για «SO_2». Κατά την εξήγηση του συλλογισμού τους οι μαθητές είπαν ότι χρησιμοποιούν το δείκτη «4» για να δείξουν ότι εικονίζονται 4 άτομα θείου (S) σε ξεχωριστά μόρια το καθένα και το δείκτη «2» για να δείξουν ότι υπάρχουν 2 άτομα οξυγόνου (O) ενωμένα με κάθε άτομο θείου (S). Επίσης, συμβολίζουν τα μόρια του τριοξειδίου του θείου ως «S_44O_3» αντί για «SO_3». Σε αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με τους μαθητές, ο δείκτης «4» δείχνει ότι εικονίζονται 4 άτομα θείου (S) σε ξεχωριστά μόρια το καθένα, ο δείκτης «3» δείχνει ότι το κάθε άτομο θείου (S) είναι ενωμένο με 3 άτομα οξυγόνου (O) και ο αριθμός «4» εκφράζει ότι τα 3 άτομα του οξυγόνου επαναλαμβάνονται 4 φορές για κάθε άτομο θείου (S). Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει πλήρης συνέπεια ανάμεσα στον τρόπο που οι μαθητές συμβολίζουν το διοξείδιο του θείου και στον τρόπο που συμβολίζουν το τριοξείδιο του θείου. γ) Μετρούν συνολικά τα άτομα του κάθε χημικού στοιχείου στα αντιδρώντα και στα προϊόντα και φτιάχνουν ένα Μ.Τ. για το καθένα, χωρίς να δίνουν καμία σημασία στον τρόπο με τον οποίο είναι ενωμένα τα άτομα αυτά (π.χ. «$S_4O_{12(aq)} \rightarrow S_4O_{12}$»). δ) Γράφουν τους Μ.Τ. όχι μόνο μεταφράζοντας τη μικροσκοπική αναπαράσταση που βλέπουν, αλλά και ανακαλώντας πληροφορίες που έρχονται σε αντίθεση με αυτή. Για παράδειγμα, ένας μαθητής αντί για «SO_3» γράφει «SO_2» διότι το «2» προκύπτει από το ανιόν του οξυγόνου. ε) Αναφέρονται μόνο στα προϊόντα, τα οποία ερμηνεύουν με

δικό τους τρόπο. Για παράδειγμα, ένας μαθητής έγραψε «$SO_3 \rightarrow S_4O_{12}$» διότι το «$SO_3$» αντιστοιχεί στο ένα μόριο των προϊόντων και το «S_4O_{12}» προκύπτει αθροίζοντας τα άτομα όλων των εικονιζόμενων μορίων των προϊόντων. στ) Τέλος, ένας μαθητής μετέφρασε κάθε ένα σωματίδιο ξεχωριστά, γράφοντας «$SO_2 + O_2 + SO_2 + O_2 + SO_2 + SO_2 \rightarrow SO_3 + SO_3 + SO_3 + SO_3$».

Γενικά οι απαντήσεις των μαθητών φανερώνουν άγνοια ή σύγχυση είτε για την έννοια της «χημικής αντίδρασης», είτε για το ρόλο των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις, είτε για τους Μ.Τ., είτε για την ερμηνεία των δεικτών στους Μ.Τ.

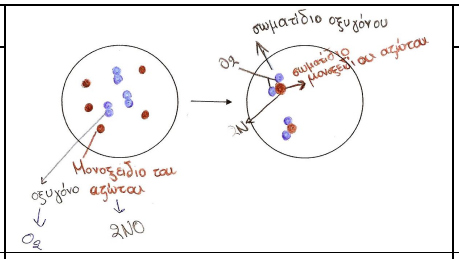
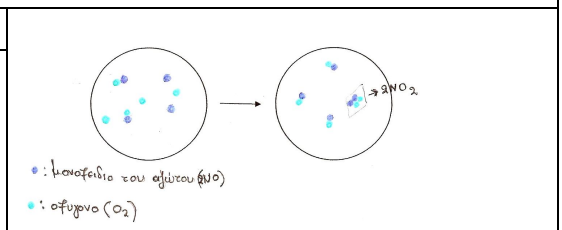
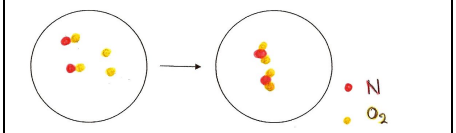
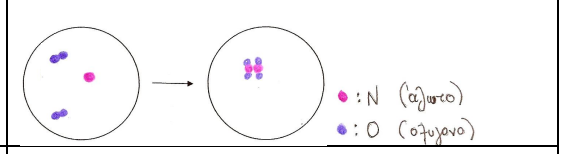
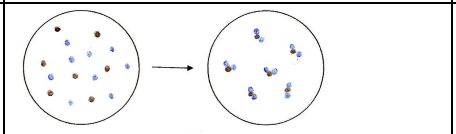
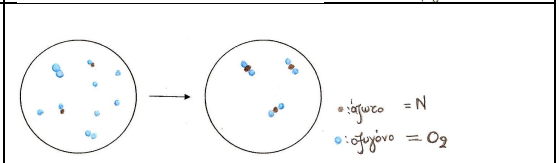
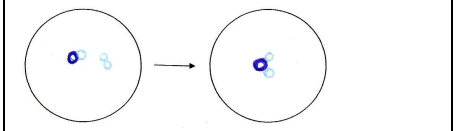
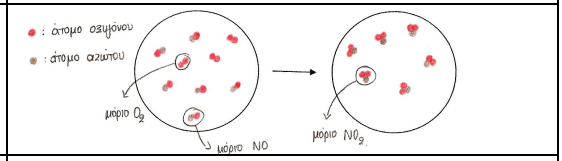
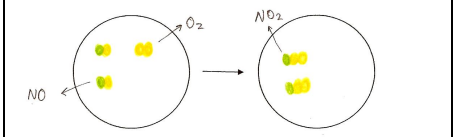
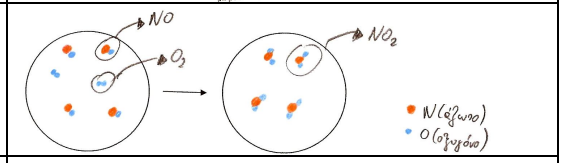
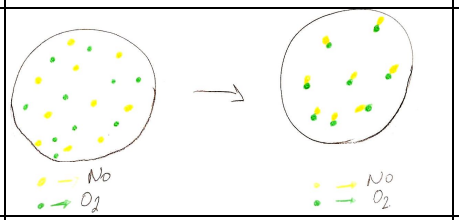
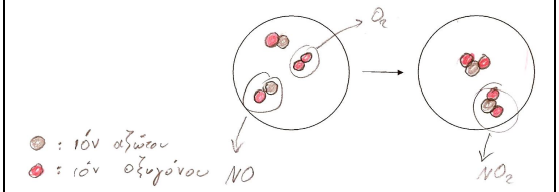
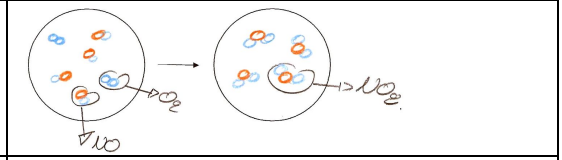
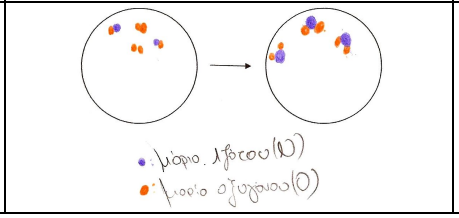
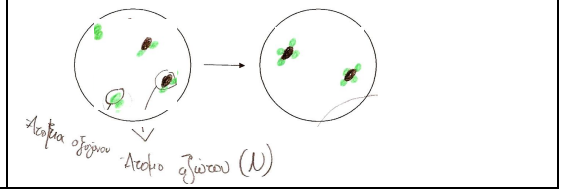
8.2.10 Μετάφραση «συμβο→μικρο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Στην 5η φάση της συνέντευξης ζητήθηκε από τους μαθητές να μεταφράσουν τη χημική εξίσωση μίας χημικής αντίδρασης στην αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση και να εξηγήσουν το συλλογισμό τους. Στον πίνακα 8.11 παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών.

Η «συμβο→μικρο» μετάφραση αποδείχτηκε για τους μαθητές πιο εύκολη απ' ότι η «μικρο→συμβο». Οι 5 από τους 16 μαθητές κατασκεύασαν μία σωστή αναπαράσταση, ενώ κανένας μαθητής δεν δήλωσε αδυναμία να σχεδιάσει κάποια μικροσκοπική αναπαράσταση. Οι αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι υπόλοιποι μαθητές περιέχουν τα παρακάτω λάθη: α) Μετέφρασαν σωστά τους Μ.Τ. στα αντίστοιχα σωματίδια, αλλά δεν έλαβαν υπόψη την ισοστάθμιση της μάζας. β) Σχεδίασαν λάθος κάποιο σωματίδιο αλλά τήρησαν την ισοστάθμιση της μάζας. γ) Σχεδίασαν λάθος σωματίδιο για έναν ή περισσότερους Μ.Τ. και δεν τήρησαν την ισοστάθμιση της μάζας. Συγκεκριμένα: μετέφρασαν το Μ.Τ. «NO» σε ένα κυκλάκι, μετέφρασαν το Μ.Τ. «O_2» σε ένα κυκλάκι, μετέφρασαν το «2 NO» σε ένα κυκλάκι, μετέφρασαν το «2 NO_2» σε μία ομάδα από δύο διαφορετικά κυκλάκια ενωμένα. δ) Καταγράψαμε μία εναλλακτική ερμηνεία για τους δείκτες και τους συντελεστές η οποία είναι η εξής: ο συντελεστής «2» στα αντιδρώντα ($2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$)

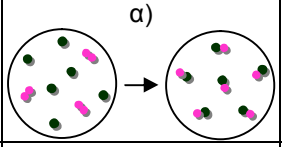
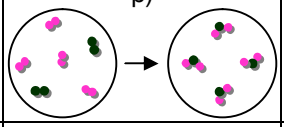
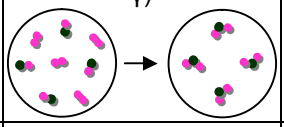
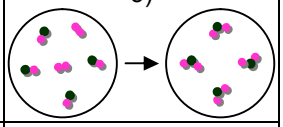
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11: Αποτελέσματα «συμβο→μικρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης.

Ποια είναι η μικροσκοπική αναπαράσταση της αντίδρασης:
$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$

Περ.		Περ.	
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η	-	15η	
8η		16η	

δείχνει πόσα άτομα αζώτου (N) υπάρχουν συνολικά σε όλα τα μόρια και πολλαπλασιάζεται με το δείκτη του οξυγόνου (2·1=2) για να δείξει πόσα άτομα οξυγόνου (O) είναι ενωμένα σε κάθε άτομο αζώτου N. Επίσης, αναφέρεται και στο άλλο αντιδρών O_2. Αντίστοιχα, ο συντελεστής «2» των προϊόντων δείχνει πόσα άτομα αζώτου (N) υπάρχουν σε ξεχωριστά μόρια και πολλαπλασιάζεται με το δείκτη του οξυγόνου (O) για να μας δείξει πόσα άτομα οξυγόνου (O) είναι ενωμένα σε κάθε άτομο αζώτου (N). Στη συνέχεια σε όσους μαθητές δεν απάντησαν σωστά εδείχθησαν 4 εναλλακτικές μικροσκοπικές αναπαραστάσεις και τους ζητήθηκε να επιλέξουν τη σωστή απάντηση και να εξηγήσουν το συλλογισμό τους. Στον πίνακα 8.12 παρουσιάζονται οι απαντήσεις αυτών των μαθητών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.12: Αποτελέσματα «συμβο→μικρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης.

	Ποια είναι η μικροσκοπική αναπαράσταση της αντίδρασης: $2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$			
	α) 	β) 	γ) 	δ) 
Περ.	3, 7	5, 6	4, 8, 9, 11	11, 16

Οι 4 εναλλακτικές μικροσκοπικές αναπαραστάσεις δόθηκαν σε 12 μαθητές και οι απαντήσεις τους ήταν αποκαλυπτικές για πολλές εναλλακτικές αντιλήψεις. Τη σωστή απάντηση (δ) απάντησαν 2 μαθητές, ενώ 4 μαθητές απάντησαν το (γ), 2 μαθητές απάντησαν το (α) και 2 μαθητές απάντησαν το (β). Ωστόσο, ακόμα και οι μαθητές που επέλεξαν τη σωστή απάντηση (δ), όπως αποδείχθηκε από την αιτιολόγηση, το έκαναν για λάθος λόγο.

Αναλυτικά, οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών περιγράφονται παρακάτω: α) Ο συντελεστής «2» μπροστά από το «NO» αναφέρεται και στο «O_2». Συγκεκριμένα, 2 μαθητές θεωρούν ότι δείχνει τον αριθμό των μορίων O_2, δηλαδή θα πρέπει να εικονίζονται 2 μόρια O_2 και γι' αυτό επιλέγουν την απάντηση (δ) (σωστή απάντηση, λάθος λόγος), ενώ 1 μαθητής θεωρεί ότι πολλαπλασιάζεται με το δείκτη «2» του «O_2» και άρα θα πρέπει να εικονίζονται 4 μόρια O_2 και γι' αυτό επιλέγει την απάντηση (γ). Να σημειωθεί ότι οι εξηγήσεις των παραπάνω μαθητών αποκαλύπτουν επιπλέον την εναλλακτική αντίληψη ότι η μικροσκοπική αναπαράσταση εικονίζει τον ακριβή

αριθμό μορίων O_2 που προκύπτει από τη χημική εξίσωση και όχι την αναλογία των σωματιδίων. β) Στα αντιδρώντα, τα άτομα δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους αλλά εξαιτίας της χημικής αντίδρασης ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μόρια. Για το λόγο αυτό 2 μαθητές επέλεξαν την απάντηση (α), διότι τα αντιδρώντα απεικονίζονται με μεμονωμένους κύκλους. γ) Για να διεξαχθεί μία χημική αντίδραση θα πρέπει να εξαφανιστούν κάποια σωματίδια και γι' αυτό ένας μαθητής επέλεξε την απάντηση (γ). δ) Ο Μ.Τ.: «NO» απεικονίζεται με ένα είδος κύκλων, δηλαδή, είτε με δύο ενωμένους πράσινους κύκλους είτε με δύο ενωμένους ροζ κύκλους. ε) Το «NO» συμβολίζει μόνο το άζωτο. στ) Κάποιοι μαθητές κοιτάζουν μόνο τα αντιδρώντα. Και ζ) κάποιοι μαθητές απαντούν διαισθητικά, χωρίς να μπορούν να δώσουν καμία εξήγηση για την απάντησή τους.

Γενικά, διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές που δεν ήταν σε θέση να κατασκευάσουν μία σωστή μικροσκοπική αναπαράσταση για μία χημική εξίσωση, έχουν θεμελιώδεις εναλλακτικές αντιλήψεις για την ερμηνεία των συντελεστών καθώς και αδυναμία να μεταφράζουν τους Μ.Τ. σε αντίστοιχα σωματίδια. Είναι χαρακτηριστικό ότι κανένας μαθητής δεν ερμήνευσε σωστά τους συντελεστές.

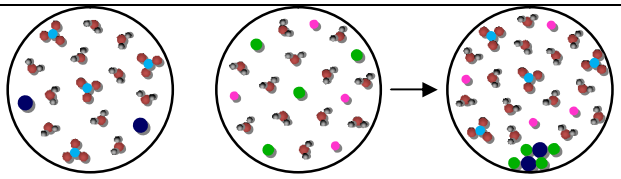
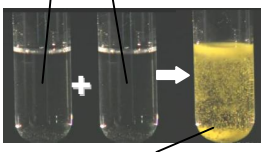
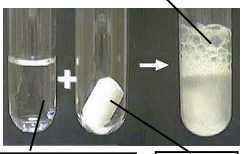
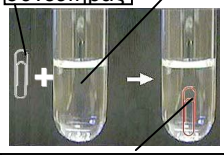
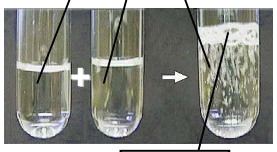
8.2.11 Μετάφραση «μικρο→μακρο» για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Τέλος, στην $6^{η}$ φάση της συνέντευξης, δείχθηκε στους μαθητές τη μικροσκοπική αναπαράσταση μίας χημικής αντίδρασης και 4 εναλλακτικές φωτογραφίες. Τους ζητήθηκε να διαλέξουν ποια φωτογραφία αντιστοιχεί στη μικροσκοπική αναπαράσταση και να εξηγήσουν το συλλογισμό τους. Η παραπάνω μετάφραση δυσκόλεψε ιδιαίτερα τους μαθητές και μόνο 5 από αυτούς κατέληξαν στη σωστή απάντηση. Οι απαντήσεις των μαθητών παρουσιάζονται στον πίνακα 8.13.

Οι εναλλακτικές αντιλήψεις που αποκαλύφθηκαν σε αυτή την ερώτηση είναι οι εξής: α) Μερικοί μαθητές δεν ήξεραν τι σημαίνει η λέξη «διαυγές». Όταν τους δόθηκε η απαραίτητη διευκρίνιση μερικοί θεώρησαν λανθασμένα ότι 2

διαφορετικά διαυγή διαλύματα πρέπει να περιέχουν ίδια σωματίδια, ενώ κάποιοι άλλοι θεώρησαν ότι ο 2ος κύκλος της μικροσκοπικής αναπαράστασης που περιέχει τα πράσινα κυκλάκια δεν μπορεί να απεικονίζει ένα διαυγές υγρό γιατί αυτά είναι κάτι «διαφορετικό» και έτσι κατέληξαν ότι αυτή η αναπαράσταση αντιστοιχεί στην κιμωλία (απάντηση β). β) Αρκετοί μαθητές θεώρησαν ότι τα ενωμένα πράσινα-μπλε κυκλάκια στα προϊόντα αντιστοιχούν

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.13: Αποτελέσματα «μικρο→μακρο» μετάφρασης μιας χημικής αντίδρασης.

	 Ποια από τις παρακάτω αντιδράσεις αντιστοιχεί στο παραπάνω σχήμα;			
	α) 	β) 	γ) 	δ) 
Περ.	9, 12, 13, 14, 15	2, 5, 8	1, 3, 4, 7, 10	6, 16

στις φυσαλίδες ή ότι εξαιτίας της ένωσής τους προκαλούνται οι φυσαλίδες. γ) Κάποιοι μαθητές θεώρησαν ότι δεν είναι δυνατόν από 2 διαυγή υγρά να σχηματιστεί κίτρινο στερεό ή φυσαλίδες. Οι μαθητές αυτοί απέρριψαν τις αντίστοιχες απαντήσεις χωρίς να λάβουν υπόψη τη μικροσκοπική αναπαράσταση. δ) Σημειώθηκε, επίσης, η εναλλακτική αντίληψη ότι τα 2 μεγάλα μπλε κυκλάκια στα αντιδρώντα αντιστοιχούν στο συνδετήρα. Και ε) επειδή τα ενωμένα πράσινα-μπλε κυκλάκια βρίσκονται «κάτω-κάτω» στην αναπαράσταση αντιστοιχούν στον κόκκινο συνδετήρα, ο οποίος επίσης είναι «κάτω-κάτω». Τέλος, κάποιοι μαθητές δήλωσαν ότι αδυνατούν να βγάλουν κάποιο συμπέρασμα και να απαντήσουν, ενώ κάποιοι άλλοι παραδέχτηκαν ότι απάντησαν στην τύχη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Εισαγωγή

Η αναπαράσταση της χημείας στα τρία επίπεδα είναι ένα θέμα το οποίο τα τελευταία χρόνια απασχολεί σε σημαντικό βαθμό τους ερευνητές στον τομέα της διδακτικής της χημείας και της χημικής εκπαίδευσης. Αρκετές έρευνες που έχουν διεξαχθεί με αντικείμενο την κατανόηση των χημικών εννοιών και την ανίχνευση παρανοήσεων γύρω από αυτές καταλήγουν σε συμπεράσματα που σχετίζονται με την κατανόηση και τη χρήση των χημικών αναπαραστάσεων και την ταυτόχρονη αντίληψη της χημείας σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο. Συνεπώς, το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει στραφεί προς τις χημικές αναπαραστάσεις και τις σχέσεις μεταξύ τους και σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται η παρούσα εργασία. Στην έρευνα αυτή μελετήθηκε διεξοδικά η ικανότητα μαθητών/φοιτητών να μεταβαίνουν από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο για πέντε βασικές έννοιες που διδάσκονται οι μαθητές κατά την εισαγωγή τους στο μάθημα της χημείας. Οι έννοιες αυτές αποτελούν προαπαιτούμενες γνώσεις για τα μετέπειτα γνωστικά αντικείμενα και, συνεπώς, πιθανές εναλλακτικές αντιλήψεις ή ελλιπής κατανόησή τους θα αποτελούν εμπόδιο στη μάθηση των επακόλουθων και πιο σύνθετων εννοιών. Τα στοιχεία που καταγράφηκαν είναι τα πρώτα στοιχεία για τον ελληνικό μαθητικό πληθυσμό αναφορικά με την ικανότητα μετάφρασης χημικών αναπαραστάσεων. Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι συναφείς έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα αφορούν μεμονωμένες έννοιες και καλύπτουν συγκεκριμένους συνδυασμούς επιπέδων.

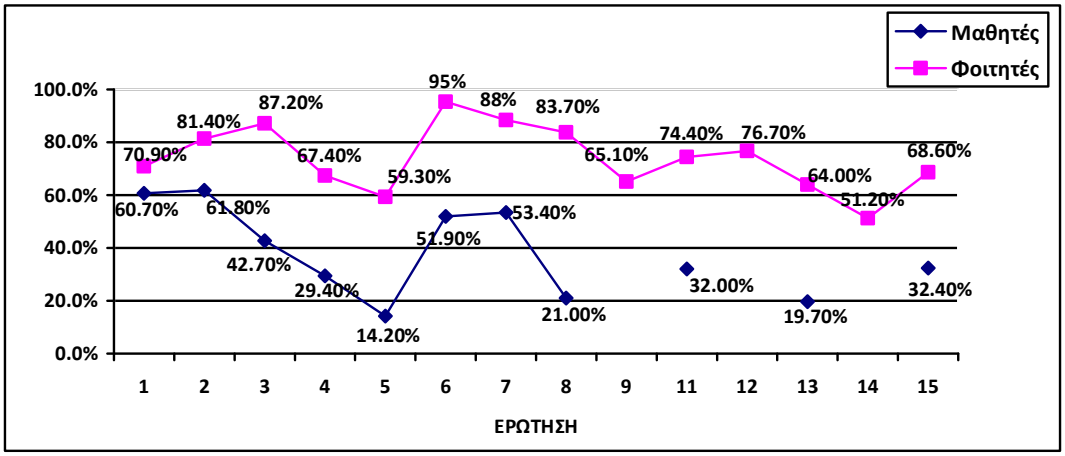
Η έρευνα διεξήχθη: α) Σε μαθητές, στους οποίους είχε ολοκληρωθεί η διδασκαλία των εξεταζόμενων εννοιών, ώστε να εκτιμηθεί η ικανότητα μετάφρασης σε έννοιες που θα ήταν γνωστές και έτσι η επίδοση στις μεταφράσεις δεν θα εξαρτιόταν από ελλείψεις στο γνωστικό υπόβαθρο. β) Σε φοιτητές τρίτου έτους τμήματος χημείας, ώστε να εκτιμηθεί η μεταβολή της ικανότητας μετάφρασης σε σχέση με την εμβάθυνση σε γνώσεις χημείας. Για

τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις κατασκευής και μετάφρασης αναπαραστάσεων από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο, διερευνώντας διάφορους συνδυασμούς επιπέδων. Τα αποτελέσματα της έρευνας, εκτός από πληροφορίες για τις μεταφράσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων, ήταν αποκαλυπτικά για το επίπεδο γνώσης και κατανόησης των πέντε εξεταζόμενων εννοιών, διότι παρά το γεγονός ότι επρόκειτο για έννοιες θεωρητικά γνωστές, διαπιστώθηκαν αρκετές ελλείψεις στο γνωστικό υπόβαθρο ή/και εναλλακτικές αντιλήψεις τόσο στους μαθητές όσο και στους φοιτητές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη διεξαγωγή της έρευνας αυτής.

9.2 Συμπεράσματα για την ικανότητα μετάφρασης μαθητών/φοιτητών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και λαμβάνοντας υπόψη ότι η διδασκαλία των εξεταζόμενων εννοιών έχει ολοκληρωθεί σε προηγούμενα σχολικά έτη, θεωρείται ότι η ικανότητα μετάφρασης χημικών αναπαραστάσεων των μαθητών Β΄ τάξης Λυκείου είναι περιορισμένη. Η έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τα χημικά φαινόμενα εξίσου σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο, γεγονός που συμφωνεί με προηγούμενες έρευνες[22-24,28,50,51], και δεν μπορούν να χρησιμοποιούν τα τρία επίπεδα της χημείας ταυτόχρονα, όπως λανθασμένα υποθέτουν συχνά οι καθηγητές[9]. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.1, το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας που σημειώθηκε στο ποσοτικό σκέλος της έρευνας ήταν 61,8% (ερώτηση 2, σελ. 235) και το χαμηλότερο ήταν 14,2% (ερώτηση 5, σελ. 236). Όπως ήταν αναμενόμενο η ικανότητα μετάφρασης των φοιτητών είναι αυξημένη συγκριτικά με τους μαθητές, ωστόσο η επίδοσή τους δεν θεωρείται ικανοποιητική αν ληφθεί υπόψη το επίπεδο των σπουδών τους. Η επίδοση των φοιτητών κυμαίνεται από 51,2% (ερώτηση 14, σελ. 241) έως 95,3% (ερώτηση 6, σελ. 236), αντίστοιχα (διάγραμμα 9.1). Δυσκολίες στη μετάβαση μαθητών/φοιτητών από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες[6,34,44], αλλά δεν μπορεί να γίνει επακριβής

σύγκριση των αποτελεσμάτων γιατί, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έχουν μελετηθεί διαφορετικές έννοιες και όχι σε όλους τους συνδυασμούς επιπέδων.



Διάγραμμα 9.1: Τα ποσοστά επιτυχίας μαθητών - φοιτητών ανά ερώτηση στην ποσοτική έρευνα.

Προκειμένου να διερευνηθεί εάν η επίδοση των μαθητών/φοιτητών διαφοροποιείται με την έννοια ή με το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση εξετάστηκε για κάθε έννοια ξεχωριστά τις μεταφράσεις μεταξύ διαφορετικών επιπέδων της χημείας. Ανάλογες έρευνες που να συγκρίνουν την επίδοση σε διαφορετικά είδη μετάφρασης δεν έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ικανότητα μετάφρασης των μαθητών και των φοιτητών εξαρτάται τόσο από την υποκείμενη χημική έννοια όσο και από το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων γίνεται η μετάφραση. Οι έννοιες που δυσκόλεψαν περισσότερο τους μαθητές και τους φοιτητές είναι το «υδατικό διάλυμα» και η «χημική αντίδραση», ενώ και οι δύο ομάδες σημείωσαν καλύτερη επίδοση στις έννοιες του «χημικού στοιχείου» και της «στερεής φυσικής κατάστασης». Αναφορικά με την έννοια της «χημικής ένωσης» η επίδοση των μαθητών και των φοιτητών εξαρτιόταν από τα επίπεδα μετάφρασης. Χαρακτηριστικό είναι ότι από το σύνολο των μεταφράσεων που εξετάστηκαν για όλες τις έννοιες τόσο η πιο εύκολη (ερώτηση 2, σελ. 235) όσο και η πιο δύσκολη μετάφραση (ερώτηση 5, σελ. 236) αφορούσαν τη «χημική ένωση» και επρόκειτο για μεταφράσεις «συμβο→μικρο» και «μικρο→συμβο» αντίστοιχα. Γενικά, το είδος της μετάφρασης που δυσκόλεψε περισσότερο τους μαθητές ήταν από

το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο, ενώ σημείωσαν καλύτερη επίδοση στις μεταφράσεις «μικρο→μακρο» και «συμβο→μικρο».

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το συμπέρασμα που προέκυψε όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να κατασκευάσουν για μια σειρά μακροσκοπικών αναπαραστάσεων μία αντίστοιχη μικροσκοπική και μία αντίστοιχη συμβολική αναπαράσταση: Οι περισσότεροι μαθητές όχι μόνο δυσκολεύονταν στη μετάφραση της μακροσκοπικής αναπαράστασης, αλλά δεν συσχέτιζαν μεταξύ τους τις μικροσκοπικές με τις συμβολικές αναπαραστάσεις που οι ίδιοι κατασκεύαζαν για το φαινόμενο. Δηλαδή, έφτιαχναν ένα σχέδιο για τα σωματίδια και έγραφαν μία συμβολική αναπαράσταση, χωρίς να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ τους και χωρίς να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει συσχετισμός ανάμεσα στο μικροσκοπικό και στο συμβολικό επίπεδο της χημείας (βλ. κεφάλαιο 8). Αυτό δείχνει ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τα χημικά φαινόμενα ταυτόχρονα στα τρία επίπεδα της χημείας, γεγονός που συνδέεται με το «πρώιμο» στάδιο της εννοιολογικής τους κατανόησης που θα συζητηθεί παρακάτω.

Ένα άλλο συμπέρασμα σχετικό με τις χημικές αναπαραστάσεις είναι ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να ερμηνεύσουν τις συμβολικές και τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Η παραπάνω δυσκολία στην αποκωδικοποίηση του νοήματος των αναπαραστάσεων και το γεγονός ότι οι μαθητές τις αντιλαμβάνονται κυρίως ως οπτικές κατασκευές, χωρίς να αναγνωρίζουν τις συμβάσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τους, έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες[7,24,28,36-38]. Η παρούσα έρευνα αποκάλυψε επιπλέον ότι σε πολλές περιπτώσεις κατά τη μετάφραση μίας αναπαράστασης σε μία άλλη οι μαθητές δεν ερμηνεύουν την αναπαράσταση που τους δίνεται ώστε να κατασκευάσουν τη ζητούμενη, αλλά ανακαλούν από τη μνήμη τους αναπαραστάσεις που έχουν δει ή έχουν μάθει. Για παράδειγμα, σε κάποιες περιπτώσεις όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να αιτιολογήσουν την κατασκευή μίας αναπαράστασης που έφτιαξαν ελήφθησαν απαντήσεις όπως «*έτσι είναι τα σχέδια που έχω δει*» ή *«έτσι το ξέρω από τη χημεία»*. Συνεπώς, οι μαθητές απομνημονεύουν μικροσκοπικές και συμβολικές αναπαραστάσεις χωρίς να είναι απαραίτητα σε θέση να τις ερμηνεύουν και να

τις κατανοούν, γεγονός που ευθυγραμμίζεται με το σχόλιο του Herron ότι: «*οι μαθητές … χειρίζονται τα σύμβολα σύμφωνα με απομνημονευμένους κανόνες, οι οποίοι δεν έχουν καμία σχέση με την πραγματικότητα.*», το οποίο αναφέρεται από τον Bowen[26]. Δηλαδή, εφόσον οι μαθητές δεν μπορούν να κατανοήσουν τις αναπαραστάσεις απλώς τις απομνημονεύουν.

Οι ομάδες χαμηλής και υψηλής επίδοσης των μαθητών δυσκολεύτηκαν στις ίδιες σχεδόν μεταφράσεις. Οι ερωτήσεις μετάφρασης μεταξύ των επιπέδων της χημείας παρουσιάζουν υψηλή διακριτική ικανότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών/φοιτητών, στο οποίο συμφωνούν και άλλοι ερευνητές[50].

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της ποσοτικής έρευνας σε μαθητές και φοιτητές έδειξε ότι το ερωτηματολόγιο που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ταιριάζει καλύτερα στα χαρακτηριστικά των φοιτητών συγκριτικά με αυτά των μαθητών. Με δεδομένο ότι η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία συμβαδίζει με την ικανότητα σκέψης και μετάβασης μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας[23,24,26,27], το παραπάνω εύρημα οφείλεται στο ότι οι φοιτητές έχουν εντρυφήσει περισσότερο σε θέματα χημείας και αναμφισβήτητα έχουν κατανοήσει βαθύτερα τις βασικές χημικές έννοιες που εξετάζει το ερωτηματολόγιο. Άλλωστε, ο ρόλος που παίζει το γνωστικό υπόβαθρο αναδείχθηκε από τους Cook et al.[44], οι οποίοι βρήκαν ότι οι μαθητές με υψηλό επίπεδο γνώσεων εστιάζουν στα εννοιολογικά χαρακτηριστικά των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων, ενώ οι μαθητές με χαμηλό επίπεδο γνώσεων εστιάζουν περισσότερο στα επιφανειακά χαρακτηριστικά των μακροσκοπικών αναπαραστάσεων και δυσκολεύονται περισσότερο στο συσχετισμό μακροσκοπικών και μικροσκοπικών αναπαραστάσεων.

9.3 Παράγοντες που σχετίζονται με την ικανότητα μετάφρασης

Με ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) βρέθηκε ότι είναι στατιστικά σημαντική η επίδραση της κατεύθυνσης που έχουν επιλέξει οι μαθητές στο Λύκειο ($F=67,435$, df (2, 459), $p<0,001$) στην ικανότητά τους να μεταφράζουν

μεταξύ των αναπαραστάσεων. Οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης πέτυχαν υψηλότερες επιδόσεις από τους υπόλοιπους ($p<0,001$), ενώ η διαφορά μεταξύ των μαθητών θεωρητικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0,212$). Να σημειωθεί ότι η έρευνα διεξήχθη στην αρχή της σχολικής χρονιάς, επομένως, τα επιπλέον μαθήματα στη χημεία κατεύθυνσης που είχαν παρακολουθήσει οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης ήταν πολύ λίγα και θεωρείται ότι δεν έπαιξαν ρόλο στην επίδοσή τους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο φύλων, με τα αγόρια να έχουν υψηλότερη επίδοση ($F=7,666$, $df=464$, $p<0,05$). Ανάλογο εύρημα αναφέρουν οι Devetak & Glazar[67], οι οποίοι βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση αγοριών και κοριτσιών να λύνουν προβλήματα τα οποία απαιτούν την ερμηνεία ή/και την κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων, με τα αγόρια να σημειώνουν υψηλότερη επίδοση.

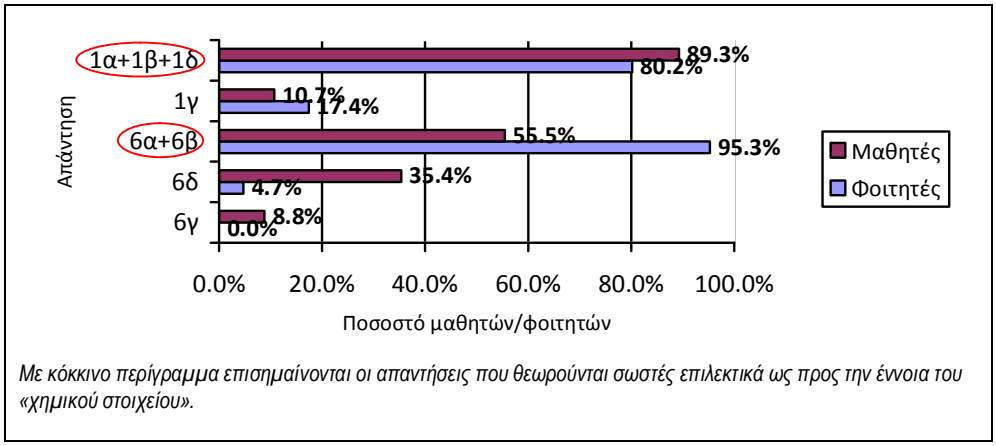
9.4 Ανάδειξη αντιλήψεων των μαθητών/φοιτητών για βασικές έννοιες χημείας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παρόλο που η διδασκαλία των εξεταζόμενων εννοιών έχει ολοκληρωθεί τόσο στους μαθητές όσο, φυσικά, και στους φοιτητές του δείγματος και άρα αυτές θα έπρεπε να είναι γνωστές, η παρούσα έρευνα, εκτός από μία πληθώρα δυσκολιών στις μεταφράσεις, αποκάλυψε και εναλλακτικές αντιλήψεις στις δύο ομάδες της έρευνας, μερικές από τις οποίες έχουν ανιχνευτεί και σε προηγούμενες έρευνες. Μια γενική δυσκολία που είχαν οι μαθητές ήταν στη χρησιμοποίηση της σωματιδιακής θεωρίας της ύλης κατά τις εξηγήσεις τους στις ερωτήσεις της συνέντευξης. Το γεγονός αυτό προέρχεται από τη δυσκολία τους να εγκαταλείψουν το συνεχές μοντέλο της ύλης και να υιοθετήσουν το σωματιδιακό, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τις αισθητηριακές τους εμπειρίες[6,16,63,65]. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δυσκολίες και οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών/φοιτητών που αναδείχθηκαν για κάθε μία έννοια ξεχωριστά.

9.4.1 Αντιλήψεις για την έννοια του «χημικού στοιχείου»

Για την έννοια του «χημικού στοιχείου» τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρόλο που ήταν από τις πιο εύκολες έννοιες για τους μαθητές, η επίδοσή τους στη μετάφραση χημικών αναπαραστάσεων δεν ήταν ίδια σε όλα τα είδη των μεταφράσεων. Οι εναλλακτικές αντιλήψεις και οι δυσκολίες που αναδείχθηκαν είναι οι εξής: α) Κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι το μεταλλικό νάτριο αποτελείται από ιόντα νατρίου και συμβόλισαν αντίστοιχα το υλικό ως «Na^+» αντί για «Na». Ανάλογα συμπεράσματα αναφέρουν οι Chandrasegaran et al.[41] για το μεταλλικό μαγνήσιο. β) Αρκετοί μαθητές δεν φαίνεται να έχουν την επιστημονική αντίληψη για τη χημική σύσταση των χημικών στοιχείων, δηλαδή ότι αποτελούνται από ένα είδος ατόμων. Για παράδειγμα, κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι χημικό στοιχείο είναι οποιοδήποτε υλικό στο οποίο τα άτομα δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους και γι' αυτό χαρακτηρίζουν ως χημικό στοιχείο ένα μίγμα δύο μονοατομικών στοιχείων (λανθασμένη απάντηση 1γ, ποσοτική έρευνα - σελ. 236 και ποιοτική έρευνα - σελ. 177). γ) Πολλοί μαθητές έχουν την αντίληψη ότι στο μεταλλικό νάτριο υπάρχουν δύο είδη σωματιδίων, θεωρώντας ότι εκτός από το νάτριο υπάρχει και ένα δεύτερο συστατικό που προσδίδει τις μεταλλικές ιδιότητες στο υλικό (λανθασμένες απαντήσεις 6γ και 6δ, ποσοτική έρευνα - σελ. 236 και ποιοτική έρευνα - σελ. 154). δ) Αποκαλύφθηκαν εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικές με το σχήμα των ατόμων. Συγκεκριμένα, τα άτομα για τους μαθητές δεν έχουν απαραίτητα σφαιρικό σχήμα, αλλά αυτό μπορεί να είναι τετράγωνο ή κάποιο άλλο (π.χ. σχήμα φασολιού).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.2, στους φοιτητές εξακολουθεί να συναντάται η εναλλακτική αντίληψη για τη χημική σύσταση των στοιχείων (λανθασμένη απάντηση 1γ) και μάλιστα σε μεγαλύτερο ποσοστό, αλλά έχει ελαχιστοποιηθεί η αντίληψη για το μεταλλικό νάτριο (λανθασμένες απαντήσεις 6γ και 6δ).

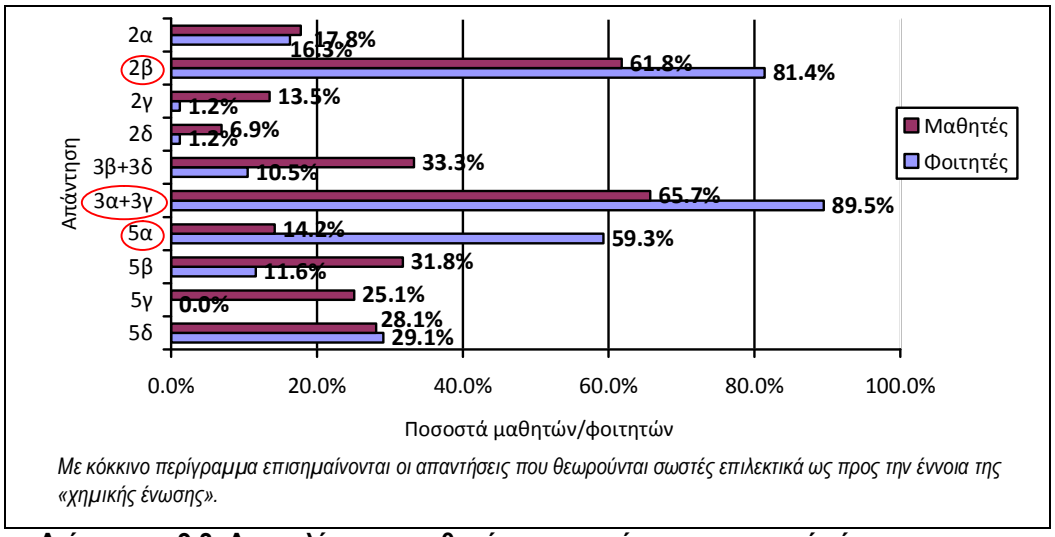


Με κόκκινο περίγραμμα επισημαίνονται οι απαντήσεις που θεωρούνται σωστές επιλεκτικά ως προς την έννοια του «χημικού στοιχείου».

Διάγραμμα 9.2: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για το «χημικό στοιχείο».

9.4.2 Αντιλήψεις για την έννοια της «χημικής ένωσης»

Αναφορικά με την έννοια της «χημικής ένωσης» η επίδοση των μαθητών και των φοιτητών διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το είδος της μετάφρασης που καλούνται να κάνουν. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εναλλακτικές αντιλήψεις και οι δυσκολίες που αναδείχθηκαν για την έννοια αυτή, μερικές από τις οποίες έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες έρευνες: α) Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι τα άτομα μιας χημικής ένωσης σε αέρια κατάσταση δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους (λανθασμένη απάντηση 2α, ποσοτική έρευνα - σελ. 235 και ποιοτική έρευνα - σελ. 177) και όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.3 διατηρείται και στους φοιτητές. Συναφή είναι τα ευρήματα των Potigieter et al.[50], οι οποίοι ανίχνευσαν την αντίληψη ότι το νερό κατά την εξάτμισή του διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στην έρευνα η παραπάνω αντίληψη διαπιστώθηκε όχι μόνο για το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού, αλλά γενικά για μία ουσία που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.



Με κόκκινο περίγραμμα επισημαίνονται οι απαντήσεις που θεωρούνται σωστές επιλεκτικά ως προς την έννοια της «χημικής ένωσης».

Διάγραμμα 9.3: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για τη «χημική ένωση».

β) Πολλοί μαθητές δεν έχουν την επιστημονική αντίληψη ότι οι Μ.Τ. εκφράζουν την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του κάθε μορίου μίας ένωσης, αλλά αντίθετα αντιμετωπίζουν μεγάλες δυσκολίες στην κατανόηση και στη χρήση των συντελεστών και των δεικτών, οι οποίες ελαττώνονται, αλλά δεν εξαλείφονται στους φοιτητές (διάγραμμα 9.3) (λανθασμένες απαντήσεις 5β, 5γ και 5δ, ποσοτική έρευνα - σελ. 236 και ποιοτική έρευνα - σελ. 156-167). Η χρησιμοποίηση συμβόλων, όπως οι Μ.Τ., με λάθος νόημα και χωρίς επιστημονική ακρίβεια αναδεικνύει τη μειωμένη «αναπαραστατική ικανότητα» κατά Kozma & Russell[30]. Σχετικά είναι τα ευρήματα των Chittleborough & Treagust[28], οι οποίοι διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές δεν αντιλαμβάνονται ότι οι μοριακοί και οι συντακτικοί τύποι περιγράφουν τα ίδια μόρια.

γ) Διαπιστώθηκε δυσκολία στη χρήση και στην κατανόηση των συμβόλων των πολυατομικών ιόντων (λανθασμένες απαντήσεις 3β και 3δ, ποσοτική έρευνα - σελ. 235), η οποία μειώνεται, αλλά εξακολουθεί να ανιχνεύεται στους φοιτητές. Εξετάζοντας το ανιόν του κυανίου (CN^-), διαπιστώθηκε ότι μερικοί μαθητές και φοιτητές θεωρούν ότι απεικονίζεται με ένα είδος σφαίρας, δηλαδή με ένα σωματίδιο. Συναφή συμπεράσματα αναφέρουν οι Nyachwaya et al.[38], οι οποίοι διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές δεν αντιλαμβάνονται το ανθρακικό ανιόν ως μία μονάδα.

δ) Οι μαθητές έχουν πολλές εναλλακτικές ιδέες για το τι είναι «χημική ένωση»: i) Μερικοί θεωρούν ότι όταν υπάρχουν άτομα ενωμένα μεταξύ τους τότε πρόκειται για χημική ένωση ανεξάρτητα αν υπάρχουν περισσότερα του ενός είδους μόρια (μίγματα χημικών ενώσεων). ii) Μερικοί θεωρούν ότι οι χημικές ενώσεις δεν είναι καθαρές ουσίες. iii) Μερικοί θεωρούν ότι στις χημικές ενώσεις τα άτομα των στοιχείων δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, δηλαδή δεν υπάρχουν χημικοί δεσμοί, αλλά συνυπάρχουν ως μίγμα. iv) Μερικοί θεωρούν ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή ότι χημικές ενώσεις είναι όλες οι ουσίες που αποτελούνται από άτομα ενωμένα μεταξύ τους ανεξάρτητα αν αυτά είναι ίδια ή διαφορετικά. Για παράδειγμα θεωρούν ως χημικές ενώσεις τα διατομικά στοιχεία. v) Μερικοί μαθητές δεν έχουν την επιστημονική άποψη ότι οι χημικές ενώσεις προκύπτουν από την ένωση είτε ατόμων είτε ιόντων, ότι δηλαδή αποτελούνται από διαφορετικά είδη σωματιδίων τα οποία είναι ενωμένα μεταξύ τους. Για παράδειγμα, σχεδιάζουν το χλωριούχο νάτριο με ένα σφαιρικό σωματίδιο, ως άτομο. Σε συναφή έρευνα, οι Ownu & Randall[51] αναφέρουν τις δύο πρώτες από τις παραπάνω αντιλήψεις.

ε) Υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην αναγνώριση των ομοιοπολικών και των ετεροπολικών ενώσεων και στην κατασκευή αντίστοιχων μικροσκοπικών αναπαραστάσεων (ποιοτική έρευνα – σελ. 157). Για παράδειγμα, οι μαθητές σχεδιάζουν το στερεό χλωριούχο νάτριο ως να αποτελείται από μόρια. Στην ίδια διαπίστωση κατέληξαν οι Nyachwaya et al.[38] οι οποίοι βρήκαν ότι οι φοιτητές σχεδίαζαν ιοντικές ενώσεις ($CaCO_3$ και $AgC\ell$) ως να αποτελούνται από μόρια.

Με τις αναλύσεις διασταύρωσης των απαντήσεων για την έννοια της «χημικής ένωσης» διαπιστώθηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές ή οι φοιτητές μπορούσαν να επιτύχουν μία μετάφραση (π.χ. «συμβο→μικρο»), αλλά δεν μπορούσαν να επιτύχουν την αντίστροφη (π.χ. «μικρο→συμβο»). Η ανάλυση έδειξε, επίσης, ότι η μετάφραση από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο είναι πιο απαιτητική, καθώς το ποσοστό επιτυχίας σε αυτή ήταν πιο μικρό συγκριτικά με την αντίστροφη, ενώ οι μαθητές/φοιτητές που πετύχαιναν σε αυτή ήταν πιο πιθανό να επιτύχουν και άλλες μεταφράσεις. Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επίτευξη της μετάφρασης

«μικρο→συμβο» απαιτεί αυξημένη κατανόηση της έννοιας «χημική ένωση» και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της εννοιολογικής κατανόησης.

9.4.3 Αντιλήψεις για την έννοια του «υδατικού διαλύματος»

Αναφορικά με την έννοια του διαλύματος, στη βιβλιογραφία υπάρχουν ευρήματα που προέρχονται από μεταφράσεις για χημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν υδατικά διαλύματα[38,81], από αλγοριθμικές ασκήσεις και από ερωτήσεις που εξετάζουν τη μάζα, τη συγκέντρωση ή την αραίωση ενός διαλύματος[50]. Ωστόσο, οι μεταφράσεις μεταξύ αναπαραστάσεων που να αφορούν την έννοια του διαλύματος έχουν διερευνηθεί σε πολύ μικρή κλίμακα. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας, στην οποία εξετάστηκαν μεταφράσεις αποκλειστικά για την έννοια του υδατικού διαλύματος, έδειξαν ότι πρόκειται για μία ιδιαίτερα δύσκολη έννοια για τους μαθητές και τους φοιτητές και η ικανότητα μετάφρασης αντίστοιχων χημικών αναπαραστάσεων είναι αρκετά περιορισμένη. Αναδείχτηκαν αρκετές δυσκολίες και εναλλακτικές αντιλήψεις, μερικές από τις οποίες έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες: α) Αρκετοί μαθητές δεν γνώριζαν τι είναι το υδατικό διάλυμα, δηλαδή ότι πρόκειται για μίγμα νερού με μία διαλυμένη ουσία, γεγονός το οποίο αποκαλύφθηκε από τις συνεντεύξεις. β) Αρκετοί μαθητές, ακόμα και αν γνώριζαν τι είναι το υδατικό διάλυμα, δεν αναγνώριζαν την παρουσία μορίων νερού, δηλαδή δεν σχεδίαζαν τα μόρια του νερού. γ) Πολλοί μαθητές δεν έχουν την επιστημονική αντίληψη για το φαινόμενο της διάλυσης. Κάποιοι θεωρούν ότι κατά τη διάλυση τα μόρια της διαλυμένης ουσίας διασπώνται σε άτομα ή σε ιόντα. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι κατά τη διάλυση του οξυγόνου στο νερό τα μόρια του οξυγόνου διασπώνται σε ιόντα οξυγόνου. Ανάλογο εύρημα αναφέρουν οι Nyachwaya et al.[38], στην έρευνά τους σε πρωτοετείς φοιτητές, οι οποίοι απεικόνισαν το CO_2 με τη μορφή ιόντων C^{4+} και O^{2-}. δ) Κάποιοι άλλοι μαθητές θεωρούν ότι κατά το σχηματισμό ενός υδατικού διαλύματος πραγματοποιείται χημική αντίδραση ανάμεσα στα μόρια του νερού και στα μόρια της διαλυμένης ουσίας, όπως για παράδειγμα κατά τη διάλυση του χλωριούχου νατρίου στο νερό από την οποία σχηματίζεται υδροχλώριο

και υδροξείδιο του νατρίου. ε) Σημειώθηκε η άποψη ότι κατά το φαινόμενο της διάλυσης τα μόρια του νερού ενώνονται με τα μόρια της διαλυμένης ουσίας, σχηματίζοντας πλέγματα στα οποία τα μόρια του νερού μπορεί να αλλάξουν μορφή. στ) Κάποιοι μαθητές συγχέουν το υδατικό διάλυμα μίας ουσίας με την υγρή κατάσταση της ουσίας. ζ) Κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι αν μπορούσαμε να δούμε τα σωματίδια ενός διαλύματος χλωριούχου καλίου ή οξυγόνου δεν θα βλέπαμε τίποτα. Η τελευταία αντίληψη αναφέρεται, επίσης, από τον de Berg[81] για πρωτοετείς φοιτητές, οι οποίοι θεωρούν ότι αν μπορούσαμε να δούμε τα σωματίδια σε ένα υδατικό διάλυμα ζάχαρης δεν θα βλέπαμε τίποτα. Ο de Berg[81] αποδίδει το εύρημα αυτό στην επίδραση της μακροσκοπικής εικόνας του διαλύματος ζάχαρης, το οποίο είναι διαυγές.

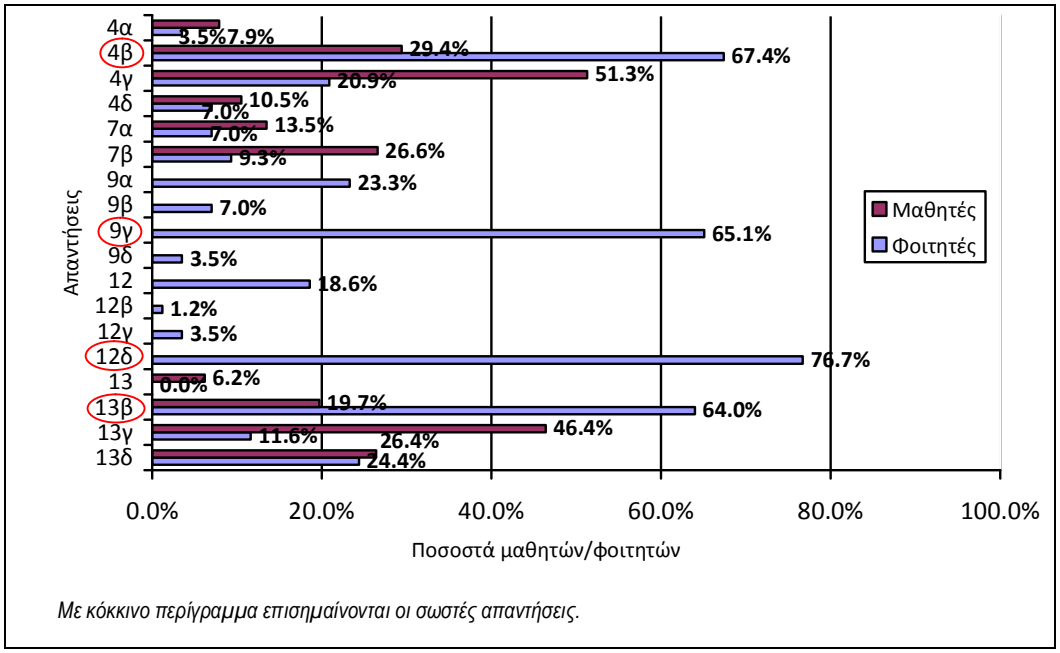
Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν και ενισχύουν την άποψη ότι οι μαθητές/φοιτητές αποδίδουν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στα σωματίδια των ουσιών και δείχνουν, επίσης, ότι συνδέουν διαφορετικές μορφές αναπαραστάσεων με βάση τα κοινά επιφανειακά χαρακτηριστικά και όχι με βάση το υποκείμενο νόημα. Το γεγονός ότι οι μαθητές/φοιτητές βασίζονται στα επιφανειακά χαρακτηριστικά προκειμένου να αποδώσουν νόημα σε μία αναπαράσταση υποδεικνύει το χαμηλό επίπεδο της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell[30]. Στην έρευνα βρήκαμε ότι κατά τις «μικρο→μακρο» μεταφράσεις οι μαθητές/φοιτητές: i) Αντιστοιχίζουν το χρώμα των σωματιδίων με το χρώμα της ουσίας. Για παράδειγμα, αντιστοιχίζουν μια μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία έχουν χρησιμοποιηθεί πορτοκαλί προσομοιώματα ατόμων με το υγρό βρώμιο το οποίο έχει, επίσης, πορτοκαλί χρώμα. Ανάλογα ευρήματα αναφέρουν οι Chandrasegaran et al.[41] οι οποίοι ανίχνευσαν σε μαθητές την αντίληψη ότι υπάρχει συσχετισμός ανάμεσα στο χρώμα της ουσίας και το χρώμα των σωματιδίων (π.χ. το πράσινο χρώμα ενός διαλύματος χλωριούχου σιδήρου οφείλεται στο χρώμα των ατόμων του χλωριούχου σιδήρου). ii) Αντιστοιχίζουν τα είδη των σωματιδίων με τα είδη των ονομάτων. Για παράδειγμα, αντιστοιχίζουν μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία χρησιμοποιούνται τρία είδη κύκλων (γκρι, κόκκινοι, κίτρινοι) με ένα υλικό του οποίου η ονομασία περιέχει τρία χημικά στοιχεία (μίγμα άνθρακα και χλωριούχου καλίου), απλά και μόνο επειδή

ταυτίζεται ο αριθμός των κύκλων με τον αριθμό των ονομάτων των χημικών στοιχείων, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη δομή των σωματιδίων (ποιοτική έρευνα - σελ. 179). Η τάση των μαθητών/φοιτητών να συσχετίζουν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία και σε άλλες έννοιες: Οι Kozma & Russell[6] διαπίστωσαν ότι για την έννοια της χημικής ισορροπίας οι φοιτητές ομαδοποιούσαν χημικές αναπαραστάσεις διαφορετικού τύπου όχι με βάση τις υποκείμενες έννοιες, αλλά με βάση τα επιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα η επικεφαλίδα των διαγραμμάτων. Αντίστοιχα, οι Cook et al.[44] διαπίστωσαν ότι για τις έννοιες της διάχυσης και της ώσμωσης οι μαθητές συσχετίζουν την αλλαγή χρώματος σε μακροσκοπικές αναπαραστάσεις με το χρώμα των σωματιδίων.

Στους φοιτητές οι παραπάνω δυσκολίες και εναλλακτικές αντιλήψεις έχουν μειωθεί, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9.4, όμως κάποιες εξακολουθούν να ανιχνεύονται, όπως ο συσχετισμός του χρώματος μεταξύ σωματιδίων και ουσίας (λανθασμένη απάντηση 4γ). Στους φοιτητές εξετάστηκαν επιπλέον δύο μεταφράσεις για υδατικά διαλύματα άλατος (KF και NaCℓ) και τα αποτελέσματα αποκάλυψαν την αντίληψη ότι τα μόρια του νερού είναι αναμεμιγμένα με μόρια άλατος (λανθασμένες απαντήσεις 9α, 9β, 12α και 12β - σελ. 238 και 240). Αυτό δείχνει ότι αρκετοί φοιτητές δεν έχουν την επιστημονική αντίληψη ότι από τη διάλυση του άλατος στο νερό προκύπτουν δύο είδη σωματιδίων, ένα ανιόν και ένα κατιόν αντίστοιχα. Η παραπάνω αντίληψη έχει σημειωθεί, επίσης, από τους Devetak et al.[70] για το υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου και από τους Nyachwaya et al.[38] για τα υδατικά διαλύματα $AgNO_3$, $CaCl_2$, και $Ca(NO_3)_2$.

Η ικανότητα συμβολισμού των υδατικών διαλυμάτων έχει μελετηθεί σε μικρότερη κλίμακα στη βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχουν αρκετά προβλήματα (ερώτηση 13, ποσοτική έρευνα - σελ. 240 και ποιοτική έρευνα - σελ. 169-176, 180). Υπάρχουν μαθητές οι οποίοι: α) Δεν έχουν την επιστημονική γνώση για το συμβολισμό των υδατικών διαλυμάτων (δείκτης «aq»). β) Δεν λαμβάνουν καθόλου υπόψη τους δείκτες. γ) Χρησιμοποιούν λανθασμένα σύμβολα όπως το δείκτη «ℓ» ή το βέλος «↓» ή

ένα σύμβολο διανύσματος. Η επίδοση των φοιτητών στο συμβολισμό των υδατικών διαλυμάτων βελτιώνεται, όμως κάποια προβλήματα εξακολουθούν να υπάρχουν (λανθασμένες απαντήσεις 13γ και 13δ) (διάγραμμα 9.4). Η χρησιμοποίηση ορθών επιστημονικών συμβόλων αλλά η απόδοση λανθασμένων νοημάτων σε αυτά αποτελεί ένδειξη του χαμηλού επιπέδου της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell[30]. Συναφή αποτελέσματα αναφέρουν οι Nyachwaya et al[38], σύμφωνα με τα οποία πρωτοετείς φοιτητές σχεδιάζουν με τον ίδιο τρόπο τα σωματίδια των ουσιών $HC\ell_{(aq)}$ και $CaCO_{3(s)}$, παρόλο που οι δείκτες είναι διαφορετικοί.

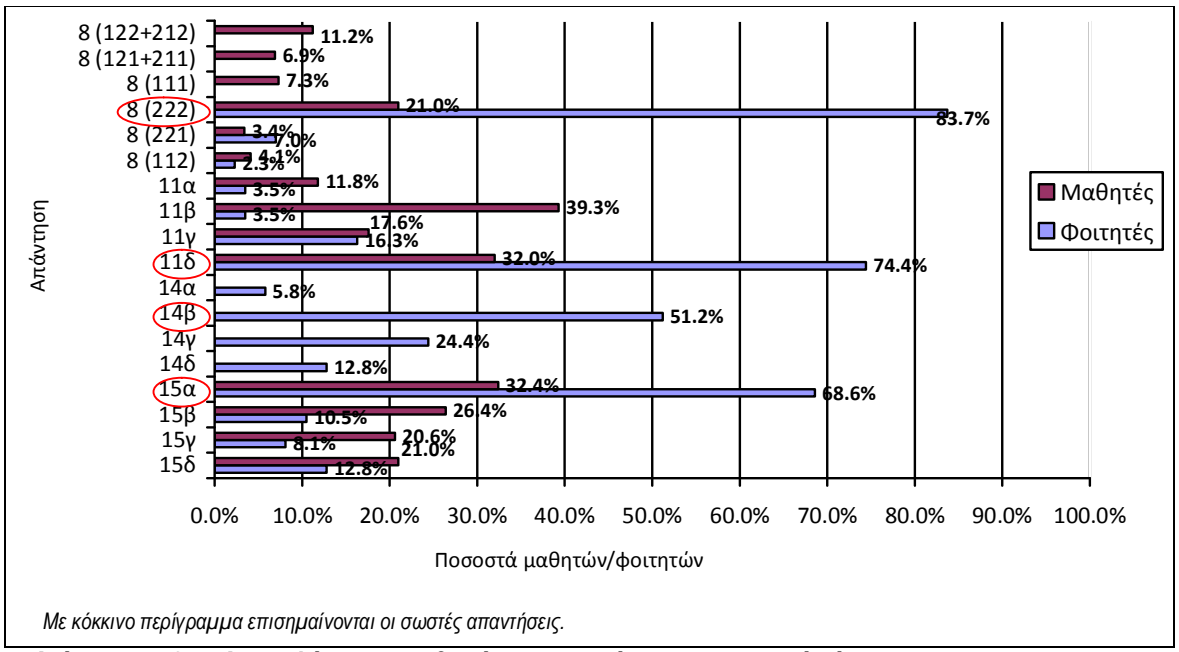


Διάγραμμα 9.4: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για το «υδατικό διάλυμα».

Από τις αναλύσεις διασταύρωσης των απαντήσεων στους μαθητές και τους φοιτητές προέκυψε το συμπέρασμα ότι η επίτευξη της μετάφρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο συνοδεύεται με μεγαλύτερη πιθανότητα επίτευξης και άλλων μεταφράσεων και γι' αυτό θεωρείται ότι συνδέεται με αυξημένη κατανόηση της έννοιας του «υδατικού διαλύματος».

9.4.4 Αντιλήψεις για την έννοια της «χημικής αντίδρασης»

Η έννοια της «χημικής αντίδρασης» έχει μελετηθεί σε αρκετές έρευνες, σε μερικές από τις οποίες έχουν διερευνηθεί οι μεταφράσεις μεταξύ αναπαραστάσεων. Τόσο οι προηγούμενες έρευνες, όσο και η παρούσα έδειξαν ότι οι μαθητές και οι φοιτητές αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες με την έννοια αυτή, έχουν πολλές εναλλακτικές αντιλήψεις, και η ικανότητά τους να μεταφράζουν τις αντίστοιχες χημικές αναπαραστάσεις είναι μικρή (διάγραμμα 9.5).



Διάγραμμα 9.5: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για την «χημική αντίδραση».

Στη μετάφραση «συμβο→μικρο», δηλαδή στη μετάφραση μιας χημικής εξίσωσης στην αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση που να απεικονίζει τα σωματίδια των αντιδρώντων και των προϊόντων, η επίδοση των μαθητών ήταν πολύ χαμηλή (ερώτηση 11, ποσοτική έρευνα - σελ. 239 και ποιοτική έρευνα - σελ. 183). Επίσης, αποκαλύφθηκαν πολλές δυσκολίες και εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με την ερμηνεία των συντελεστών και των δεικτών, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω σε παράθεση με τα ευρήματα της βιβλιογραφίας:

α) Μερικοί μαθητές επιλέγουν λανθασμένα σωματίδια για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα, αλλά φροντίζουν να διατηρείται η μάζα μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων. Ωστόσο, κάποιοι άλλοι κάνουν το αντίθετο λάθος, δηλαδή μεταφράζουν σωστά τους Μ.Τ. στα αντίστοιχα σωματίδια, αλλά δεν διατηρούν τη μάζα μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων. Τέτοιες δυσκολίες αναφέρουν και οι Potgieter et al.[50] μελετώντας μία παρεμφερή άσκηση.

β) Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι οι συντελεστές εκφράζουν τον ακριβή αριθμό των σωματιδίων και δεν αναγνωρίζουν ότι εκφράζουν την αναλογία των σωματιδίων σε μία χημική αντίδραση. Ανάλογα ευρήματα έχουν αναφερθεί από τους Davidowitz et al.[52].

γ) Μερικοί μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι ο Μ.Τ. μιας χημικής ένωσης περιγράφει το κάθε ένα μόριο της ένωσης. Συγκεκριμένα, μετέφραζαν το προϊόν «$2NO_2$» σε σωματίδιο που αντιστοιχούσε στον τύπο «N_2O_4» ή στον τύπο «N_2O_2» ή στον τύπο «NO_4». Επίσης, σχεδίαζαν το αντιδρών «NO» με ένα κυκλικό σωματίδιο ως άτομο, το αντιδρών «O_2» επίσης με ένα άλλο κυκλικό σωματίδιο ως άτομο, και το προϊόν «NO_2» με δύο κυκλικά σωματίδια (ένα από κάθε είδος) ενωμένα. Ανάλογες αντιλήψεις έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία και για άλλες ενώσεις, όπως η «NH_3» (Davodowitz et al.[52]), το «H_2O» (Nyachwaya et al.[38], Kern et al.[68]), το «CO_2» (Kern et al.[68]) κ.α.

ε) Διαπιστώθηκε η εξής εναλλακτική ιδέα για την ερμηνεία συντελεστών και δεικτών: Στην εξίσωση «$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$» θεωρούν ότι ο συντελεστής «2» μπροστά από το «NO» αναφέρεται και στο «O_2». Η παραπάνω αντίληψη ενδεχομένως να προέρχεται από σύγχυση με την επιμεριστική ιδιότητα στα μαθηματικά.

Στην αντίστροφη μετάφραση «μικρο→συμβο» (ερώτηση 8, ποσοτική έρευνα - σελ. 238 και ποιοτική έρευνα - σελ. 181), η επίδοση των μαθητών/φοιτητών ήταν πιο μικρή συγκριτικά με τη μετάφραση «συμβο→μικρο», ενώ χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι περίπου οι μισοί μαθητές δήλωσαν αδυναμία να γράψουν οποιαδήποτε χημική εξίσωση. Οι δυσκολίες και οι αντιλήψεις που ανιχνεύτηκαν από τα δύο αυτά είδη μεταφράσεων ταιριάζουν μεταξύ τους: α) μερικοί μαθητές μεταφράζουν τα σωματίδια σε σωστούς Μ.Τ.,

αλλά δεν διατηρούν τη μάζα, β) κάποιοι άλλοι μεταφράζουν τα σωματίδια σε λάθος Μ.Τ., αλλά διατηρούν τη μάζα και γ) μερικοί κάνουν λάθος τόσο στους Μ.Τ., όσο και στην ισοστάθμιση της μάζας. Η μετάφραση «μικρο→συμβο» δεν έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία. Συναφή αποτελέσματα αναφέρονται από τους Davodowitz et al.[52] οι οποίοι βρήκαν παρανοήσεις σε πρωτοετείς φοιτητές στη μετάφραση τόσο των σωματιδίων σε κατάλληλους Μ.Τ. όσο και της αναλογία των σωματιδίων σε κατάλληλους συντελεστές στοιχειομετρίας.

Η μελέτη της μετάφρασης «μικρο→μακρο» (ερώτηση 15, ποσοτική έρευνα - σελ. 242 και ποιοτική έρευνα - σελ. 186) αποκάλυψε γενικότερες εναλλακτικές αντιλήψεις στη χημεία: α) Καταγράφτηκε η άποψη ότι από την ανάμιξη δύο διαυγών διαλυμάτων δεν μπορεί να προκύψει κίτρινο στερεό ή φυσαλίδες. Αυτό δείχνει αφενός έλλειψη γνώσεων ή/και κατανόησης για την έννοια της χημικής αντίδρασης και αφετέρου την απουσία της επιστημονικής άποψης ότι οι ιδιότητες των ουσιών προκύπτουν από τη δομή των υπαρχουσών σωματιδίων. β) Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι δύο διαυγή διαλύματα αποτελούνται από τα ίδια είδη σωματιδίων. γ) Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι τα μεγαλύτερα σφαιρικά σωματίδια αντιστοιχούν σε στερεές ουσίες. Να σημειωθεί ότι για τη μετάφραση «μικρο→μακρο» για την έννοια της χημικής αντίδρασης δεν βρέθηκαν αναφορές στη βιβλιογραφία.

Τέλος, εξετάστηκε η μετάφραση «μακρο→μικρο», η οποία λήφθηκε υπόψη μόνο στους φοιτητές. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τις παρανοήσεις για τη διατήρηση της μάζας που αναφέρθηκαν παραπάνω στις μεταφράσεις «συμβο⇆μικρο». Σε σχετική έρευνα οι Chandrasegaran et al.[41] μελέτησαν τις μεταφράσεις «μακρο→συμβο» και «μακρο→μικρο» για χημικές αντιδράσεις και αποκάλυψαν τη δυσκολία συμβολισμού των χημικών αντιδράσεων και την απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα σωματίδια.

Τα παραπάνω ευρήματα επιβεβαιώνουν την αντίληψη που έχει ανιχνευτεί σε άλλες έννοιες[6,44] ότι οι μαθητές αποδίδουν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά στα σωματίδια των ουσιών. Επίσης, επαληθεύουν την άποψη ότι ο τρόπος σκέψης που ακολουθούν οι μαθητές προκειμένου να επιτύχουν μία μετάφραση είναι αντιστοίχιση των επιφανειακών χαρακτηριστικών με κάποιο

τρόπο, και όχι συσχετισμός των υποκείμενων χημικών εννοιών. Αυτός ο τρόπος σκέψης καταγράφτηκε τόσο στις μεταφράσεις «μακρο→μικρο», όσο και στις μεταφράσεις «μικρο→συμβο» και «συμβο→μικρο», στις οποίες οι μαθητές αντιστοίχιζαν τα σύμβολα των χημικών στοιχείων με σφαιρικά σωματίδια χωρίς, να λαμβάνουν υπόψη τους δείκτες των Μ.Τ. ή τη δομή των σωματιδίων.

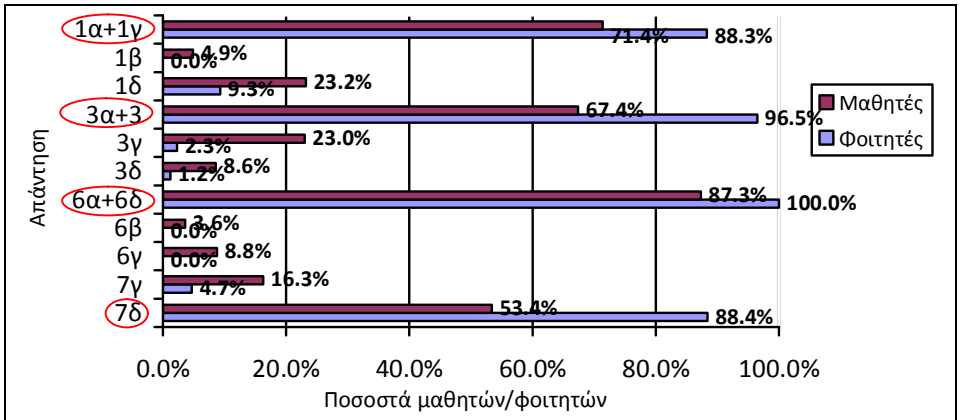
Μετά την ανάλυση των παραπάνω, είναι φανερό ότι οι μαθητές/φοιτητές έχουν μειωμένη «αναπαραστατική ικανότητα» κατά Kozma & Russell[30] για την έννοια της χημικής αντίδρασης, καθώς έχουν περιορισμένη ικανότητα μετατροπής μιας αναπαράστασης σε άλλη, αποδίδουν λανθασμένα νοήματα σε επιστημονικά σύμβολα και συνδέουν διαφορετικές αναπαραστάσεις με βάση τα επιφανειακά χαρακτηριστικά.

Οι αναλύσεις διασταύρωσης των απαντήσεων έδειξαν ότι οι μαθητές/φοιτητές που είχαν επιτυχία στη μετάφραση «μικρο→συμβο» είχαν περισσότερες πιθανότητες να επιτύχουν και άλλες μεταφράσεις, γεγονός που θεωρείται ότι υποδηλώνει πως η ικανότητα μετάφρασης από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο συνδέεται με μεγαλύτερη εννοιολογική κατανόηση. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι, ενώ στη μετάφραση «μικρο→συμβο» υπήρχαν κενές απαντήσεις, στη μετάφραση «συμβο→μικρο» όλοι οι μαθητές σχεδίασαν μία μικροσκοπική αναπαράσταση. Οι φοιτητές είχαν καλύτερη επίδοση στις μεταφράσεις μεταξύ μακροσκοπικού και μικροσκοπικού επιπέδου συγκριτικά με τις μεταφράσεις μεταξύ μικροσκοπικού και συμβολικού, γεγονός που θα μπορούσε να αποδοθεί στα περισσότερα εργαστηριακά πειράματα που έχουν πραγματοποιήσει ή παρακολουθήσει. Οι επιτυχόντες φοιτητές στη μετάφραση «μακρο→μικρο» έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιτύχουν και άλλες μεταφράσεις.

9.4.5 Αντιλήψεις για την έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης»

Στη βιβλιογραφία η έννοια της «στερεής φυσικής κατάστασης» δεν έχει ερευνηθεί εκτενώς και τα περισσότερα ευρήματα προέρχονται από την εξέταση άλλων εννοιών, όπως η χημική αντίδραση. Στην παρούσα έρευνα

αποδείχθηκε μία έννοια σχετικά εύκολη για τους μαθητές και τους φοιτητές και η ικανότητά τους να μεταφράζουν χημικές αναπαραστάσεις ήταν ικανοποιητική (διάγραμμα 9.6). Τα προβλήματα και οι εναλλακτικές αντιλήψεις που ανιχνεύτηκαν ήταν σε πιο μικρή κλίμακα.



Με κόκκινο περίγραμμα επισημαίνονται οι απαντήσεις που θεωρούνται σωστές επιλεκτικά ως προς την έννοια της «στερεής κατάστασης».

Διάγραμμα 9.6: Αποτελέσματα μαθητών - φοιτητών της ποσοτικής έρευνας για τη «στερεή κατάσταση».

Αναφορικά με την οπτικοποίηση της σωματιδιακής φύσης της ύλης οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές στην 1η φάση της συνέντευξης (σελ. 154-159) και οι εξηγήσεις που έδωσαν αποκάλυψαν την αντίληψη ότι στις στερεές ουσίες τα σωματίδια δεν βρίσκονται απλώς πολύ κοντά μεταξύ τους και με μεγάλη τάξη, αλλά είναι ενωμένα. Ωστόσο, καταγράφτηκε και η αντίθετη αντίληψη ότι τα σωματίδια έχουν κάποια απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, αποκαλύφθηκε η εναλλακτική αντίληψη ότι σε ένα υλικό με μορφή κόκκων τα σωματίδια δεν βρίσκονται σε τόσο πυκνή διάταξη όπως σε ένα συμπαγές στερεό υλικό. Η παραπάνω αντίληψη εξηγεί τη λανθασμένη απάντηση 7γ (σελ. 237), η οποία έχει ελαχιστοποιηθεί στους φοιτητές. Μάλιστα, κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι το υλικό με μορφή κόκκων δεν είναι στερεό.

Αναφορικά με την ικανότητα συμβολισμού, οι λανθασμένες απαντήσεις (3γ, 3δ, 7γ - σελ. 235, 237) σε συνδυασμό με τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές και τις εξηγήσεις που έδωσαν στην 1η φάση (σελ. 155, 159) αποκάλυψαν ότι αρκετοί μαθητές δεν γνωρίζουν τον τρόπο

συμβολισμού των στερεών ουσιών (δείκτης «s»). Μερικές λανθασμένες αντιλήψεις που ανιχνεύτηκαν είναι ότι οι στερεές ουσίες συμβολίζονται με «↓» ή με τον εκθέτη «+» ή με το δείκτη «3». Η επίδοση των φοιτητών στο συμβολισμό των στερεών ουσιών είναι πολύ βελτιωμένη και τα αντίστοιχα προβλήματα έχουν εξαλειφθεί. Συναφή ευρήματα είναι των Nyachwaya et al.[38] οι οποίοι κατά την εξέταση μεταφράσεων «συμβο→μικρο» για χημικές αντιδράσεις σε πρωτοετείς φοιτητές βρήκαν μεγάλη δυσκολία στη μετάφραση των συμβόλων των φυσικών καταστάσεων της ύλης. Για παράδειγμα, μερικοί φοιτητές σχεδίασαν με ανάλογο τρόπο τα σωματίδια των αντιδρώντων $HC\ell_{(aq)}$ και $CaCO_{3(s)}$, παρόλο που οι δείκτες είναι διαφορετικοί.

Τέλος, η λανθασμένη απάντηση 3δ (σελ. 235), κατά τη μετάφραση «μικρο→μακρο», όπως προέκυψε από τις συνεντεύξεις (1η φάση - σελ. 163 και 3η φάση - σελ. 180), πηγάζει από τη λανθασμένη αντίληψη ότι υπάρχει συσχετισμός μεταξύ του χρώματος των σφαιρών που απεικονίζουν τα σωματίδια στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις και του χρώματος των ουσιών. Η παραπάνω αντίληψη μειώνεται, χωρίς όμως να εξαλείφεται στους φοιτητές.

9.5 Πρόσθετα συμπεράσματα

Για την «αναπαραστατική ικανότητα» και την «ικανότητα μεταοπτικοποίησης»: Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το επίπεδο της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell[30] των μαθητών είναι χαμηλό στη χημεία. Η πλειοψηφία των μαθητών έχει αναπτύξει σε πολύ μικρό βαθμό τις δεξιότητες που συνιστούν την αναπαραστατική ικανότητα στη χημεία, όπως είναι η ικανότητα μετατροπής μιας αναπαράστασης από τη μία μορφή στην άλλη, η ικανότητα σύνδεσης διαφορετικών αναπαραστάσεων, η κατανόηση της αντιστοιχίας των επιφανειακών χαρακτηριστικών, η ικανότητα εξήγησης πώς διαφορετικές αναπαραστάσεις συμβολίζουν τις ίδιες έννοιες ή φαινόμενα, η χρησιμοποίηση λέξεων για την περιγραφή και την ανάλυση μίας αναπαράστασης, η ικανότητα παραγωγής ή επιλογής μιας αναπαράστασης για ένα σκοπό, η

επιστημολογική θέση ότι οι αναπαραστάσεις αντιστοιχούν σε παρατηρήσιμα φαινόμενα. Σε μερικούς μαθητές η αναπαραστατική ικανότητα στη χημεία βρίσκεται στο πιο χαμηλό επίπεδο, όπου η παραγωγή μιας αναπαράστασης γίνεται αποκλειστικά με βάση τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του φαινομένου, χωρίς τη χρησιμοποίηση κανενός συμβολικού συστήματος (Επίπεδο 1 - σελ. 63). Χαρακτηριστικές αντιλήψεις αυτού του επιπέδου είναι οι εξής: «στα υδατικά διαλύματα δεν θα βλέπαμε τίποτα», «στο μεταλλικό νάτριο θα έβλεπα μια συμπαγή επιφάνεια» κ.α. Στους περισσότερους μαθητές η αναπαραστατική ικανότητα στη χημεία βρίσκεται σε ενδιάμεσο επίπεδο, όπου κατά την παραγωγή μιας αναπαράστασης χρησιμοποιούνται συμβολικά συστήματα, τα οποία όμως δεν είναι επιστημονικά ακριβή, αλλά είναι προϊόντα επινόησης ή ιδιοσυγκρασιακά (Επίπεδο 3 – σελ. 63). Χαρακτηριστικά αυτού του επιπέδου είναι ότι οι μαθητές δεν εστιάζουν στο νόημα των συμβολικών συστημάτων και συνδέουν διαφορετικές αναπαραστάσεις με βάση κοινά επιφανειακά χαρακτηριστικά. Αντίστοιχα, η ικανότητα «μεταοπτικοποίησης» κατά Gilbert[1] στους μαθητές, η οποία είναι χαμηλή, εφόσον έχουν σε μικρό βαθμό αναπτυγμένες τις εξής επιμέρους ικανότητες: i) να κατανοούν τις συμβάσεις των αναπαραστάσεων, ii) να μεταφράζουν αναπαραστάσεις από τη μία μορφή στην άλλη και iii) να κατασκευάζουν αναπαραστάσεις για κάποιο σκοπό (σελ. 66). Οι φοιτητές σημείωσαν μεγαλύτερη επιτυχία στις μεταφράσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων, συνεπώς τόσο η ικανότητα «μεταοπτικοποίησης» κατά Gilbert[1] όσο και η «αναπαραστατική ικανότητα» κατά Kozma & Russell[30] είναι υψηλότερες.

Για τη χρησιμοποίηση των χημικών όρων: Διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές είχαν μεγάλη σύγχυση και δυσκολία στη χρησιμοποίηση κατάλληλων χημικών όρων, όπως «άτομο», «μόριο» και «ιόν», προκειμένου να περιγράψουν αναπαραστάσεις ή/και να αιτιολογήσουν το συλλογισμό τους στις ερωτήσεις της συνέντευξης. Ανάλογα συμπεράσματα έχουν προκύψει και από άλλες έρευνες, οι οποίες εξέτασαν διαφορετικές χημικές έννοιες (απόσταξη, χρωματογραφία, χημική ισορροπία κ.α.) αλλά διαπίστωσαν παρόμοια αδυναμία και περιορισμένο λεξιλόγιο στη χημεία κατά την εξήγηση

μακροσκοπικών και μικροσκοπικών αναπαραστάσεων[28]. Οι Kozma & Russell[6] σημειώνουν ότι οι φοιτητές κάνουν αναφορά στα άτομα κυρίως στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις και όχι στις μακροσκοπικές ή τις συμβολικές[6]. Οι Devetak et al.[70] αναφέρουν ότι οι μαθητές δεν αιτιολογούν τις απαντήσεις τους χρησιμοποιώντας χημικούς όρους, αλλά αντίθετα χρησιμοποιώντας το μακροσκοπικό επίπεδο.

9.6 Ανακεφαλαίωση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Με την παρούσα έρευνα μελετήθηκε για πρώτη φορά σε Έλληνες μαθητές και φοιτητές η μετάφραση μεταξύ αναπαραστάσεων σε διαφορετικά επίπεδα της χημείας για 5 βασικές έννοιες. Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν συνεισέφεραν σημαντικά: α) στην αποτίμηση της ικανότητας μετάφρασης μεταξύ αναπαραστάσεων μαθητών/φοιτητών, από την οποία αποτιμήθηκε η εννοιολογική κατανόηση των εξεταζόμενων εννοιών, β) στην ανίχνευση εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών/φοιτητών για τις εξεταζόμενες έννοιες, μερικές από τις οποίες είχαν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, γ) στην ανίχνευση των δυσκολιών κατά τις μεταφράσεις και δ) στην αποτίμηση του επιπέδου της «αναπαραστατικής ικανότητας» κατά Kozma & Russell και της «μεταοπτικοποίησης» κατά Gilbert, καθώς και στη σύνδεση των επιμέρους δεξιοτήτων αυτών με τις εναλλακτικές ιδέες και δυσκολίες που ανιχνεύτηκαν.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι μαθητές/φοιτητές αντιμετώπισαν σημαντικές δυσκολίες στις ζητούμενες μεταφράσεις, όπως αναμενόταν. Υψηλότερη επίδοση σημείωσαν οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης και τα αγόρια. Αντίθετα με τις αρχικές υποθέσεις, η ικανότητα μετάφρασης των μαθητών/φοιτητών εξαρτάται τόσο από το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση, όσο και από την εξεταζόμενη έννοια. Αρκετοί μαθητές ενώ μπορούν να επιτύχουν μία μετάφραση για μία έννοια μεταξύ δύο επιπέδων, δεν μπορούν να επιτύχουν την αντίστροφη. Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση η ικανότητα επίτευξης της μετάφρασης «μικρο→συμβο» για μία έννοια φαίνεται να συνοδεύεται με μεγαλύτερη πιθανότητα επίτευξης και άλλων μεταφράσεων για την έννοια αυτή. Επίσης,

αρκετοί μαθητές, ενώ μπορούν να επιτύχουν μία μετάφραση για ένα σύνθετο συμβολικό σύστημα (π.χ. χημική εξίσωση), δεν μπορούν να επιτύχουν την αντίστοιχη μετάφραση για ένα επιμέρους συμβολικό σύστημα (π.χ. μοριακός τύπος). Τέλος, επιβεβαιώθηκε η υπόθεση ότι οι η ικανότητα μετάφρασης συνδέεται με τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές/φοιτητές για τις εξεταζόμενες έννοιες.

Στο ποιοτικό σκέλος της έρευνας διερευνήθηκαν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές κατά τη διαδικασία μετάφρασης μιας αναπαράστασης σε μία άλλη και βρέθηκε ότι η αδυναμία επίτευξης μίας μετάφρασης οφείλεται: 1) σε ελλείψεις γνώσεων ή στην ύπαρξη εναλλακτικών αντιλήψεων, 2) σε αδυναμία εφαρμογής της γνώσης, 3) σε αδυναμία ερμηνείας της δοθείσας αναπαράστασης ή 4) σε αδυναμία συσχετισμού των ισοδύναμων χαρακτηριστικών των αναπαραστάσεων.

Στην 1η περίπτωση, όπου υπάρχει έλλειψη γνώσεων ή/και εναλλακτικές αντιλήψεις, οι μαθητές προσπαθούν να επιτύχουν τη μετάφραση αντιστοιχίζοντας τα επιφανειακά χαρακτηριστικά χωρίς να χρησιμοποιούν τις υποκείμενες έννοιες. Για παράδειγμα αντιστοιχίζουν τα μεγάλα σφαιρικά σωματίδια με τις στερεές ουσίες, το χρώμα των σωματιδίων με το χρώμα των ουσιών κ.α. Ανάλογος είναι ο τρόπος σκέψης που ακολουθούν στη 2η περίπτωση, όταν δεν μπορούν να εφαρμόσουν τη γνώση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αδυναμία εφαρμογής του σωματιδιακού μοντέλου της ύλης. Πολυάριθμες έρευνες έχουν καταγράψει τη μεγάλη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές προκειμένου να εγκαταλείψουν το συνεχές μοντέλο της ύλης και να υιοθετήσουν το σωματιδιακό[6,9,38,50-52,62-68], ενώ ενδεικτικό της παραπάνω δυσκολίας είναι η απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων (π.χ. χρώμα, σχήμα κ.α.) στα σωματίδια. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν και ενισχύουν τα παραπάνω ευρήματα. Η 3η αιτία για την αδυναμία επίτευξης μιας μετάφρασης είναι η λανθασμένη ερμηνεία της δοθείσας αναπαράστασης. Προηγούμενες έρευνες[17,38-41] έχουν αναφερθεί στη δυσκολία μαθητών και φοιτητών να ερμηνεύουν συμβολικές και μικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν την παραπάνω δυσκολία και δείχνουν, επιπλέον, ότι σε

πολλές περιπτώσεις οι μαθητές απομνημονεύουν τις συμβολικές και τις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, χωρίς να είναι σε θέση να τις ερμηνεύουν, να τις κατανοούν και να τις συσχετίζουν με τις υποκείμενες χημικές έννοιες.

Τέλος, η 4η αιτία είναι η αδυναμία των μαθητών/φοιτητών να αντιληφθούν ποια χαρακτηριστικά είναι μεταξύ τους ισοδύναμα στις διαφορετικές αναπαραστάσεις. Αισθητή είναι η αδυναμία σύνδεσης των μικροσκοπικών και των συμβολικών αναπαραστάσεων και, μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις οι μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ τους. Σε κάποιες περιπτώσεις οι παραπάνω αδυναμίες και δυσκολίες οφείλονται σε έλλειψη γνώσεων (π.χ. δεν γνωρίζουν ότι το υδατικό διάλυμα συμβολίζεται με το δείκτη «aq») ή σε εναλλακτικές αντιλήψεις, ενώ σε άλλες περιπτώσεις παρατηρείται αδυναμία οπτικοποίησης σε σωματιδιακό επίπεδο παρόλο που υπάρχουν οι προαπαιτούμενες γνώσεις (π.χ. ο μαθητής γνωρίζει ότι υπάρχει νερό, αλλά δεν απεικονίζει τα μόρια του νερού ή ο μαθητής γνωρίζει ότι το χλωριούχο νάτριο αποτελείται από κρυσταλλικό πλέγμα, αλλά σχεδιάζει μόρια). Γενικά, παρατηρήθηκε μία τάση απομνημόνευσης των χημικών εννοιών, χωρίς να συνοδεύεται από εννοιολογική κατανόηση. Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί ανάλογα συμπεράσματα αναφορικά με την απομνημόνευση χημικών εννοιών και ορισμών χωρίς αντίστοιχη ικανότητα οπτικοποίησης των φαινομένων και των ουσιών σε μικροσκοπικό επίπεδο, όπως είναι για παράδειγμα η ισχύς των οξέων και των βάσεων και η οπτικοποίηση των αντίστοιχων υδατικών διαλυμάτων ή η χημική ισορροπία[50].

9.7 Προτάσεις

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαμορφώσαμε μία σειρά από προτάσεις με τις οποίες πιστεύεται ότι μπορεί να βελτιωθεί η ικανότητα μετάφρασης μεταξύ των αναπαραστάσεων, η οποία με τη σειρά της θα συμβάλλει στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης του μαθήματος της χημείας.

Τα ευρήματα τόσο της παρούσας έρευνας όσο και άλλων ερευνών[6,38,52,62-68] έδειξαν ότι οι μαθητές αλλά και οι προπτυχιακοί φοιτητές δυσκολεύονται να

οπτικοποιήσουν τα φαινόμενα και τις έννοιες της χημείας στο μικροσκοπικό, μη ορατό, επίπεδο. Δηλαδή, δυσκολεύονται να οπτικοποιήσουν το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη κατά τη διδασκαλία να δίνεται περισσότερη έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο της χημείας και στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις αντίστοιχα, ώστε οι μαθητές/φοιτητές να βοηθηθούν στη δημιουργία των αντίστοιχων νοητικών μοντέλων[28,80,114] σε μικροσκοπικό επίπεδο και στην κατανόηση της ύλης και των φαινομένων. Στην παραπάνω υπόδειξη έχουν καταλήξει και άλλοι ερευνητές[6,50,52]. Η πρόταση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί πρακτικά με την ενσωμάτωση μικροσκοπικών αναπαραστάσεων στα σχολικά εγχειρίδια για κάθε χημική έννοια ή φαινόμενο που διδάσκονται οι μαθητές/φοιτητές, με την προβολή κινούμενων προσομοιώσεων (animation) ή αναπαραστάσεων κατά τη διδασκαλία και με την κατασκευή αναπαραστάσεων στον πίνακα από τον εκπαιδευτικό.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων στη διδασκαλία δεν εξασφαλίζει από μόνη της ότι η μάθηση και η κατανόηση της χημείας ενισχύονται. Οι μαθητές χρειάζονται καθοδήγηση όταν βλέπουν ή ερμηνεύουν μία μικροσκοπική αναπαράσταση. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλοι οι μαθητές/φοιτητές κατανοούν σωστά το περιεχόμενο και το νόημα των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων θα πρέπει να επισημαίνεται και να διευκρινίζεται με σαφήνεια η ερμηνεία των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών, το οποίο έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία σε προηγούμενες έρευνες[1,6,28,44]. Επίσης, οι αναπαραστάσεις θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε τα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά να αντιστοιχούν με ακρίβεια στα λιγότερο εμφανή υποκείμενα θέματα[44], ενώ επιπλέον σημασία θα πρέπει να δίνεται στον τρόπο ενσωμάτωσής τους στα σχολικά εγχειρίδια[100,101].

Εξίσου σημαντική θεωρείται η κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων από τους ίδιους τους μαθητές, συμπέρασμα στο οποίο συνηγορούν και άλλοι ερευνητές[6,38,52,80,81]. Προτείνεται η κατασκευή των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων να αποτελεί μέρος της διδασκαλίας, δηλαδή οι μαθητές να εκπαιδεύονται και να εξασκούνται σε αυτό.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι ανάλογα προβλήματα κατανόησης και ερμηνείας συναντώνται και στις συμβολικές αναπαραστάσεις. Οι καθηγητές μπορεί να αντιλαμβάνονται τις υποκείμενες έννοιες στις χημικές αναπαραστάσεις, όμως πολλοί μαθητές βλέπουν μόνο επιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα γράμματα, οι αριθμοί και οι γραμμές[31]. Συνεπώς, όταν οι καθηγητές χρησιμοποιούν συμβολικές αναπαραστάσεις στην τάξη θα πρέπει να εξηγούν το συλλογισμό τους με σαφήνεια, ώστε οι μαθητές/φοιτητές να μπορούν να καταλάβουν το υποκείμενο νόημα που σχετίζεται με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων και να αντιληφθούν πώς λειτουργούν και συνεισφέρουν κατά την επίλυση των προβλημάτων. Δηλαδή, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και έμφαση στην ερμηνεία των συμβολικών αναπαραστάσεων και οι μαθητές θα πρέπει να διδάσκονται με σαφήνεια τους «κώδικες» των αναπαραστάσεων[1,6,28,44]. Επιπλέον, η εννοιολογική κατανόηση και η ανάπτυξη της αναπαραστατικής ικανότητας μπορούν να ενισχυθούν από τη ενεργή συμμετοχή των μαθητών στη δημιουργία τέτοιων αναπαραστάσεων σε συνδυασμό με προβληματισμό για το νόημά τους.

Η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία είναι συνυφασμένη με την ικανότητα σκέψης των χημικών φαινομένων και εννοιών σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο παράλληλα. Όπως συμπεραίνεται από τα αποτελέσματα, αυτή η ικανότητα είναι αρκετά περιορισμένη στους μαθητές/φοιτητές και είναι δύσκολο να κατακτηθεί. Για το λόγο αυτό προτείνεται κατά τη διδασκαλία να γίνεται συστηματική χρήση των πολλαπλών χημικών αναπαραστάσεων, δηλαδή αναπαραστάσεων που να απεικονίζουν τα διδασκόμενα φαινόμενα και στα τρία επίπεδα της χημείας[6,28,41,52,94]. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να επισημαίνεται με σαφήνεια η αντιστοιχία των επιφανειακών χαρακτηριστικών στις διαφορετικές αναπαραστάσεις[9,44]. Για το λόγο αυτό οι πολλαπλές αναπαραστάσεις θα πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένες ώστε τα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά να βοηθούν τους μαθητές να διαπερνούν τα όρια μεταξύ τους και να τις συνδέουν με τις υποκείμενες χημικές έννοιες. Σχηματίζοντας συνδέσμους μεταξύ των αναπαραστάσεων οι μαθητές μπορούν να αποκτούν

επιπλέον γνώση από μία αναπαράσταση σε συνδυασμό με μία άλλη και να οδηγούνται σε μια ολοκληρωμένη και ακριβή κατανόηση των φαινομένων απ' ότι από τις επιμέρους μεμονωμένες αναπαραστάσεις[49]. Στις παραπάνω προτάσεις συμφωνούν και άλλοι ερευνητές, όπως για παράδειγμα οι Rappoport & Ashkenazi[34], οι οποίοι προτείνουν να διασαφηνίζεται ότι η συμπεριφορά των ουσιών μακροσκοπικά (δηλαδή τα χημικά φαινόμενα) και οι συμβολικές εξισώσεις που περιγράφουν τη συμπεριφορά αυτή προκύπτουν από τη δομή και τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων και δεν συμβαίνει το αντίστροφο. Επίσης, προτείνεται να ενσωματωθούν στη διδασκαλία οι μεταφράσεις των αναπαραστάσεων από τη μία μορφή στην άλλη και οι μαθητές να εκπαιδεύονται και να εξασκούνται σε αυτές[28,34,52,53]. Οι μαθητές θα πρέπει να ενθαρρύνονται να απεικονίζουν τα χημικά προβλήματα και τις λύσεις τους με μία ποικιλία αναπαραστάσεων και να σχολιάζουν πώς οι αναπαραστάσεις είναι ισοδύναμες μεταξύ τους, πού διαφέρουν και γιατί η μία μορφή μπορεί να είναι καλύτερη για την έκφραση ενός προβλήματος ή για την επίλυσή του από μία άλλη. Κατά την εργασία των μαθητών σε ζεύγη ή ομάδες θα πρέπει, επίσης, να ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν διάφορες αναπαραστάσεις με τις οποίες θα εκφράζουν τον τρόπο με τον οποίο κατανοούν το εκάστοτε αντικείμενο της μελέτης τους καθώς περιγράφουν, εξηγούν, ρωτούν και συζητούν μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό θα βοηθηθούν οι μαθητές να αντιμετωπίσουν τις εννοιολογικές απαιτήσεις που υπάρχουν κατά τη μετάβαση μεταξύ των τριών επιπέδων αναπαράστασης[25,28]. Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις μεταφράσεις από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο, γιατί εννοιολογικά φάνηκε να είναι οι πιο απαιτητικές για τους Έλληνες μαθητές/φοιτητές.

Πολύ σημαντικός είναι και ο ρόλος που παίζει η γλώσσα τόσο στην εννοιολογική κατανόηση της χημείας όσο και στη σύνδεση μεταξύ των αναπαραστάσεων. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να χρησιμοποιήσουν βασικούς χημικούς όρους, όπως το άτομο, το μόριο και το ιόν, για να περιγράψουν ένα φαινόμενο ή να αιτιολογήσουν μία απάντηση, ενώ δυσκολεύονται να περιγράψουν ακόμα και τις αναπαραστάσεις που οι ίδιοι κατασκεύασαν. Προτείνεται οι χημικές

αναπαραστάσεις να συνοδεύονται από ακριβείς λεκτικές περιγραφές, ώστε οι μαθητές να αντιλαμβάνονται σωστά τη χημική ορολογία και, επίσης, οι μαθητές να εξασκούν τη λεκτική τους ικανότητα στην περιγραφή των φαινομένων.

Κάποιες προτάσεις για το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών είναι οι εξής: α) Να αυξηθούν οι ώρες διδασκαλίας που αφιερώνονται για την εισαγωγή και τη διδασκαλία του σωματιδιακού μοντέλου στην Β΄ τάξη του Γυμνασίου και να αφιερώνονται επιπλέον διδακτικές ώρες για δραστηριότητες και ασκήσεις κατανόησης και εμπέδωσης του μοντέλου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ευρήματα τόσο της παρούσας έρευνας όσο και άλλων ερευνών[16,63,65,68] καταδεικνύουν πόσο δύσκολο είναι για τους μαθητές να κατανοήσουν και να υιοθετήσουν το σωματιδιακό μοντέλο της ύλης, το οποίο παίζει κομβικό ρόλο στην κατανόηση των επακόλουθων εννοιών της χημείας. β) Η παρούσα έρευνα έδειξε μια πληθώρα εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με την ερμηνεία των μοριακών τύπων και των χημικών εξισώσεων, και συγκεκριμένα σχετικά με το ρόλο των δεικτών και των συντελεστών. Προκειμένου να αρθούν αυτές οι αντιλήψεις προτείνεται να αυξηθούν οι ώρες που διατίθενται για τη διδασκαλία των συμβολικών αναπαραστάσεων, ώστε εκτός από την παρουσίασή τους, να δοθεί η ευκαιρία στους μαθητές να εξασκηθούν με αντίστοιχες δραστηριότητες, ασκήσεις κατανόησης και εμπέδωσης, ασκήσεις συσχετισμού με το μικροσκοπικό και το μακροσκοπικό επίπεδο και ασκήσεις μετάφρασης από τη μία μορφή αναπαράστασης στην άλλη. γ) Προτείνεται να ενσωματωθούν στόχοι σχετικοί με την κατανόηση και τη μετάφραση των χημικών αναπαραστάσεων από το ένα επίπεδο στο άλλο. Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Οι μαθητές να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν τη σωματιδιακή θεωρία της ύλης για να περιγράφουν και να εξηγούν παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα και επίσης, να χρησιμοποιούν χημικά σύμβολα για να τα συμβολίζουν.

- Οι μαθητές να είναι σε θέση να ερμηνεύουν και να περιγράφουν λεκτικά μικροσκοπικές και συμβολικές αναπαραστάσεις για μία ουσία ή ένα χημικό φαινόμενο.
- Οι μαθητές να είναι σε θέση να μετατρέπουν χημικές αναπαραστάσεις μιας ουσίας ή ενός φαινομένου από τον έναν τύπο στον άλλον, να επισημαίνουν τα χαρακτηριστικά που είναι ισοδύναμα μεταξύ τους και να εξηγούν την αντιστοιχία μεταξύ των αναπαραστάσεων.
- Οι μαθητές να είναι σε θέση να κατασκευάζουν μικροσκοπικές αναπαραστάσεις για μία ουσία ή ένα χημικό φαινόμενο.

Κατά συνέπεια, θα πρέπει να ενσωματωθούν στα σχολικά εγχειρίδια αντίστοιχες ερωτήσεις αξιολόγησης που θα εξετάζουν την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Είναι γνωστό ότι η μορφή ενός διαγωνίσματος ή η ανάθεση μίας εργασίας ενθαρρύνει τη στείρα απομνημόνευση πληροφοριών ή την επιφανειακή χρησιμοποίηση των συμβόλων. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει[34,37,47,49,68,71,72,81] ότι οι μαθητές μπορεί να δίνουν σωστές απαντήσεις σε συγκεκριμένους τύπους προβλημάτων στη χημεία (π.χ. επίλυση αλγοριθμικών προβλημάτων ή ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων), αλλά έχουν πολύ περιορισμένη κατανόηση για τις αντίστοιχες χημικές έννοιες. Συνεπώς, πρέπει να αναπτυχθούν νέοι δείκτες για την αξιολόγηση των μαθητών οι οποίοι να είναι αντιπροσωπευτικοί για τα αποτελέσματα της μαθησιακής διαδικασίας. Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν ότι τόσο η ικανότητα μετάφρασης μεταξύ αναπαραστάσεων διαφορετικού τύπου όσο και η κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων από τους μαθητές είναι ενδεικτικές για την εννοιολογική κατανόηση των υποκείμενων εννοιών[6,22,38,50,52] και ταυτόχρονα αποκαλυπτικές για την παρουσία πιθανών εναλλακτικών αντιλήψεων. Επομένως, οι μεταφράσεις αναπαραστάσεων μεταξύ των τριών επιπέδων της χημείας και η κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων είναι κατάλληλο εργαλείο για την αξιολόγηση των μαθητών. Στους μαθητές θα πρέπει να δίνονται εργασίες και φύλλα αξιολόγησης στα οποία να καλούνται να χρησιμοποιήσουν μία ποικιλία συμβολικών συστημάτων, δηλαδή χημικών αναπαραστάσεων, για να εκφράσουν την

κατανόησή τους. Επίσης, προτείνεται να δίνονται ασκήσεις στις οποίες να απαιτείται από τους μαθητές να μετατρέψουν συμβολικές, μικροσκοπικές και μακροσκοπικές αναπαραστάσεις από τον έναν τύπο στον άλλον καθώς και σε γλωσσικές/λεκτικές μορφές. Εκτός από τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, θα πρέπει να δίνονται ερωτήσεις ανοικτού τύπου που να απαιτούν λεκτικές περιγραφές και κατασκευή εικόνων και διαγραμμάτων, οι οποίες θα δίνουν επιπλέον σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση των εννοιών από τους μαθητές, καθώς και για την ικανότητά τους να εκφράζονται με ποικίλους τρόπους. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης με τους παραπάνω τρόπους θα παράσχουν ουσιαστική ανατροφοδότηση, ώστε οι μαθητές να οργανώσουν το διάβασμά τους και οι καθηγητές να οργανώσουν τις διδασκαλίες τους με κατάλληλο τρόπο που θα οδηγήσει στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης στο μάθημα της χημείας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων.

Ξενόγλωσσος όρος	**Ελληνικός όρος**
visualize	οπτικοποιώ
visual perception	οπτική αντίληψη
visual imagery	οπτική απεικόνιση
spatial imagery	χωρική απεικόνιση
visual imagery	οπτική απεικόνιση
mental imagery	νοητική απεικόνιση
visual acuity	οπτική οξύτητα
pictorial	εικονογραφικές
mental model	νοητικό μοντέλο
expressed model	εκφρασμένο μοντέλο
consensus model	συναινετικό μοντέλο
scientific model	επιστημονικό μοντέλο
historical model	ιστορικό μοντέλο
curricular models	σχολικά μοντέλα
teaching models	διδακτικά μοντέλα
hybrid models	υβριδικά μοντέλα
homomorphs	ομόμορφα
paramorphs	παράμορφα
micro-morphs	μικρόμορφα
macro-morphs	μακρόμορφα
teleiomorphs	τελειόμορφα

metromorphs	μετρόμορφα
animation	κινούμενα σχέδια
gestural	χειρονομιακός
spatial language	χωρική γλώσσα
spatial	χωρικός
inputs	εισροές
formats	μορφοσχήματα
cues	νύξεις
representational competence	αναπαραστατική ικανότητα
aperceptual	μη αντιληπτικές
skills	δεξιότητες
ability	ικανότητα
metavisualization	μεταοπτικοποίηση
metacognition	μεταγνώση
spatial intelligence	χωρική νοημοσύνη
mental faculty	νοητική ικανότητα
antecedents	προηγούμενα αίτια
congruence principle	αρχή της συμφωνίας
apprehension principle	αρχή της αντίληψης
explanatory sequential design	επεξηγηματικός διαδοχικός σχεδιασμός
cross tabulation	αναλύσεις διασταύρωσης

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Ακρωνύμια και ανάπτυξή τους.

«μικρο»	μικροσκοπικό
«μακρο»	μακροσκοπικό
«συμβο»	συμβολικό
Μ.Τ.	μοριακός/οί τύπος/οι
«μικρο→μακρο» μετάφραση	μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο
«μακρο→μικρο» μετάφραση	μετάφραση από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό επίπεδο
«μικρο→συμβο» μετάφραση	μετάφραση από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο
«συμβο→μικρο» μετάφραση	μετάφραση από το συμβολικό στο μικροσκοπικό επίπεδο
«μακρο-μικρο-συμβο»	συσχετισμός του μακροσκοπικού, του μικροσκοπικού και του συμβολικού επιπέδου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1) Όταν βλέπεις γραμμένο κάπου: H_3PO_4

   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν το βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

2) Όταν βλέπεις γραμμένο κάπου: CO_3^{2-}

   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

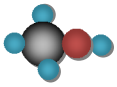
   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν το βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

3) Όταν βλέπεις γραμμένο κάπου: $HC\ell_{(\ell)}$

   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν το βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

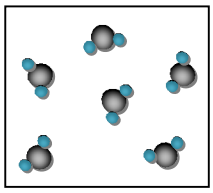
4) Όταν βλέπεις την εικόνα:



   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

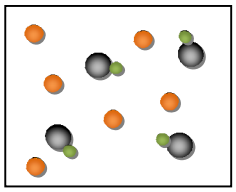
5) Όταν βλέπεις την εικόνα:



   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

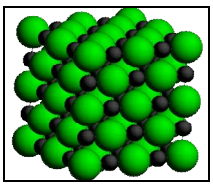
6) Όταν βλέπεις την εικόνα:



   Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

   Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

7) Όταν βλέπεις την εικόνα:



Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

8) Όταν βλέπεις την εικόνα:

Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

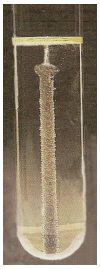
Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

9) Όταν βλέπεις την εικόνα:

Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

10) Όταν βλέπεις την εικόνα:



Α) Τι πληροφορίες παίρνεις;

Β) Περίγραψε σε ένα συμμαθητή σου, που δεν τη βλέπει, τι είναι αυτό που είδες.

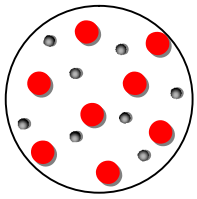
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ – 1η ΕΚΔΟΣΗ

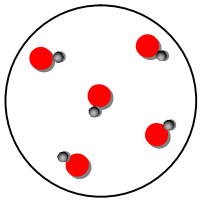
- **Στις ερωτήσεις που θα συναντήσετε παρακάτω οι χρωματιστοί κύκλοι συμβολίζουν σωματίδια (άτομα ή ιόντα).**
- **Στις περιπτώσεις που είναι απαραίτητο δίνεται η αντιστοιχία χρώματος και σωματιδίου. Στις υπόλοιπες δεν είναι απαραίτητο.**

1) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τα σωματίδια μιας ουσίας η οποία είναι **αέρια** και έχει **μοριακό τύπο HI**;

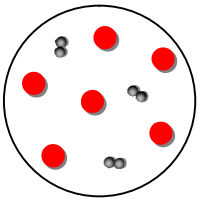
α)



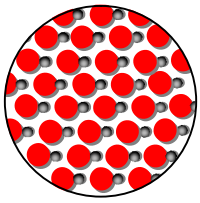
β)



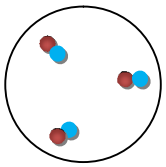
γ)



δ)



2) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



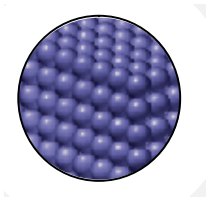
Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **μοριακός τύπος** της ουσίας αυτής;

α) NO β) $(NO)_3$ γ) N_3O_3 δ) 3 NO

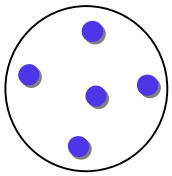
3) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα κομμάτι **μεταλλικού νατρίου**.

Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τη δομή των σωματιδίων στην ουσία αυτή;

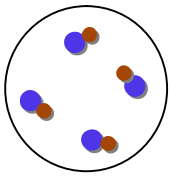
α)



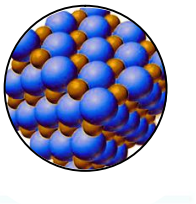
β)



γ)

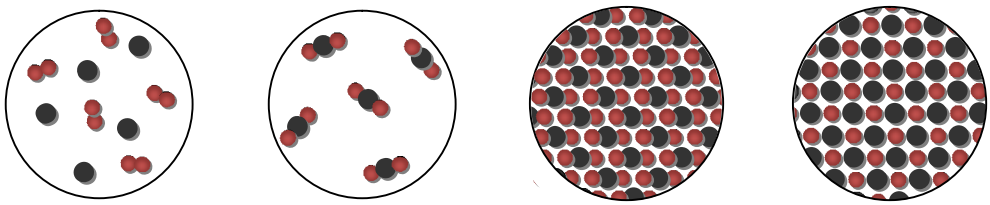


δ)

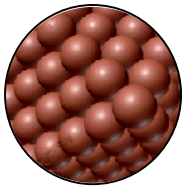


4) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τα σωματίδια μιας ουσίας η οποία συμβολίζεται $\mathbf{CO_{2(s)}}$;

α) β) γ) δ)



5) Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει την ουσία αυτή;

α) β) γ) δ)

Χρυσός

Αέριο Ήλιο

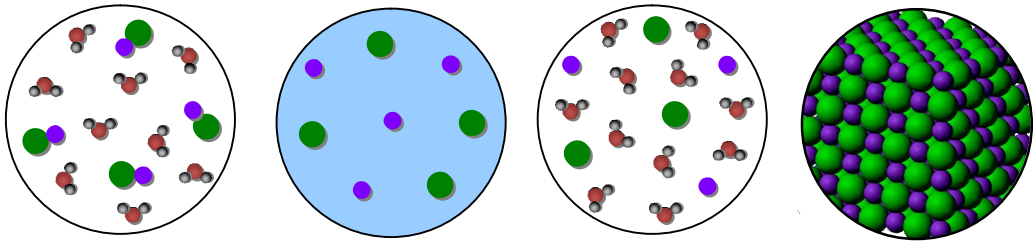
Ανθρακικό ασβέστιο

Υγρή Μεθανόλη

6) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει πληρέστερα το συμβολισμό $\mathbf{KF_{(aq)}}$;

Δίνονται οι συμβολισμοί: : μόριο νερού, : ιόν καλίου, : ιόν φθορίου

α) β) γ) δ)



7) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:

Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **χημικός τύπος** της ουσίας αυτής;

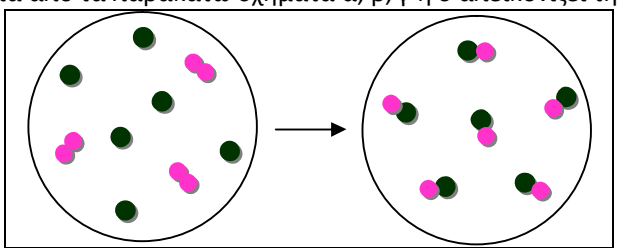
α) $LiBr_{(s)}$ β) $LiBr_{(l)}$ γ) $LiBr_{(g)}$ δ) $LiBr_{(aq)}$

8) Η αντίδραση του αντιμονίου με το χλώριο συμβολίζεται με τη χημική εξίσωση:

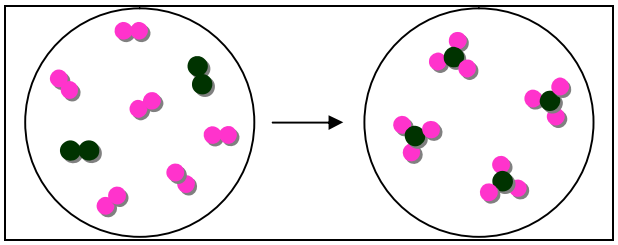
$$\mathbf{2\ Sb + 3\ C\ell_2 \rightarrow 2\ SbC\ell_3}$$

Ποια από τα παρακάτω σχήματα α, β, γ ή δ απεικονίζει την αντίδραση αυτή;

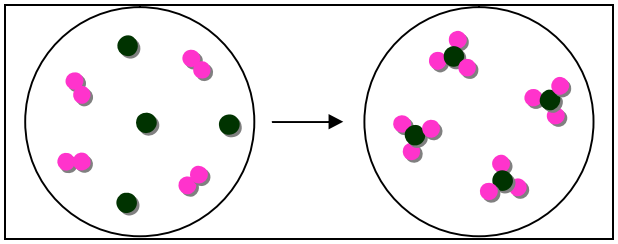
α)



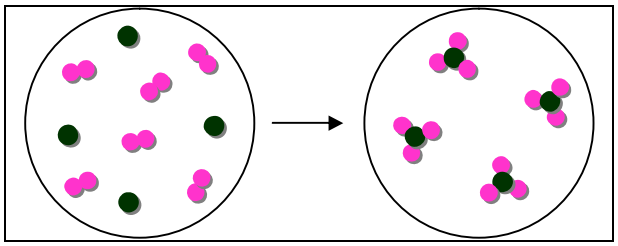
β)



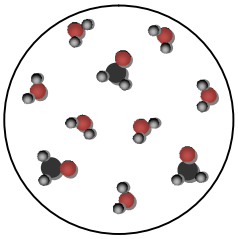
γ)



δ)



9) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια ενός **υδατικού** διαλύματος:

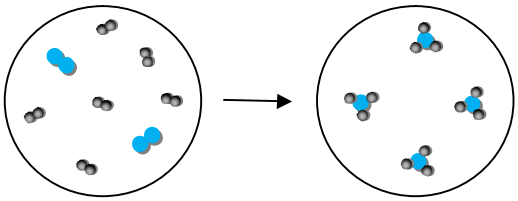


Δίνονται οι συμβολισμοί:
: άτομο υδρογόνου,
: άτομο οξυγόνου,
: άτομο άνθρακα

Πως συμβολίζεται το διάλυμα αυτό;

α) $CH_2O_{(\ell)}$
β) $CH_2O_{(aq)}$
γ) $CH_4O_{2\,(aq)}$
δ) CH_2O και H_2O

10) Το παρακάτω σχήμα δείχνει την αντίδραση μεταξύ του αζώτου και του υδρογόνου:



Δίνονται οι συμβολισμοί:
: άτομο υδρογόνου (H)
: άτομο αζώτου (N)

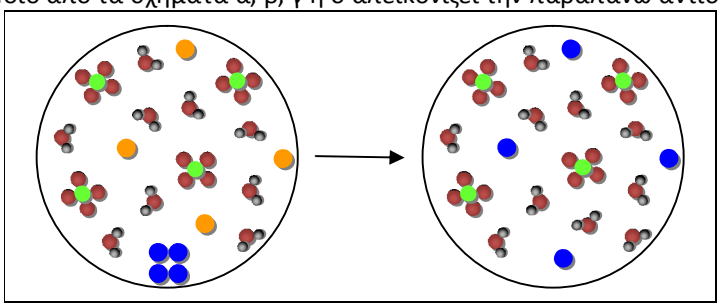
Στο παρακάτω πλαίσιο να γράψετε τη **χημική εξίσωση** της αντίδρασης αυτής:

11) Ο σίδηρος αντιδρά με το θειικό χαλκό, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η οποία δείχνει: τα αντιδρώντα (i), την αντίδραση (ii) και τα προϊόντα (iii).

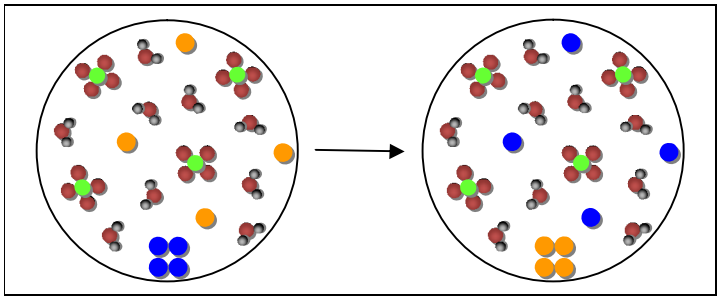
Αντιδρώντα **(i)** ***Η αντίδραση*** **(ii)** ***Προϊόντα*** **(iii)**

Ποιο από τα σχήματα α, β, γ ή δ απεικονίζει την παραπάνω αντίδραση (ii);

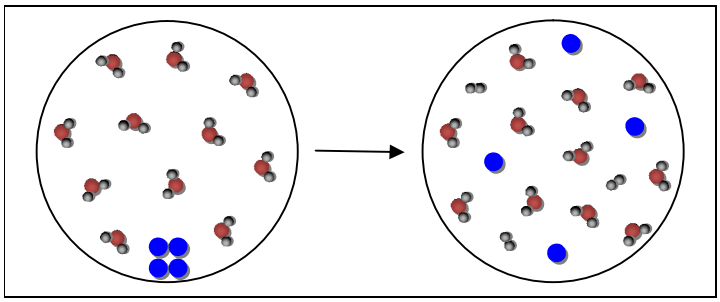
α)



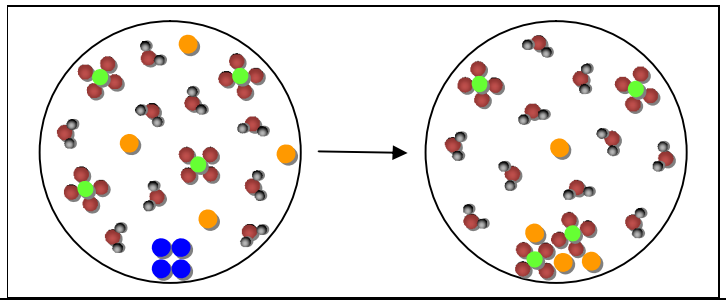
β)



γ)



δ)



Δίνονται οι συμβολισμοί:

: άτομο-ιόν σιδήρου,

: άτομο-ιόν χαλκού,

: θειικό ιόν,

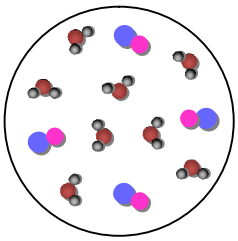
: μόριο νερού

12) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα ποτήρι με **αλατόνερο**.

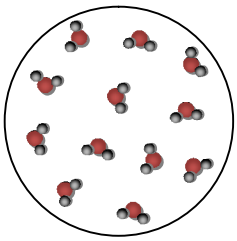
Ποια από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει τα σωματίδια στο αλατόνερο;

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

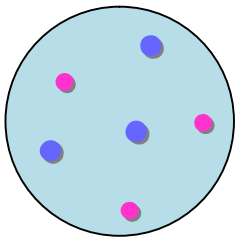
α)



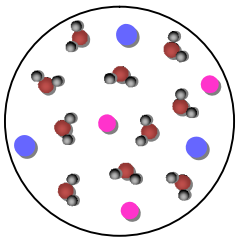
β)



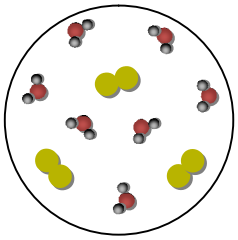
γ)



δ)



13) Δίνεται το σχήμα:



Ποια από τις παρακάτω φωτογραφίες αντιστοιχεί στο σχήμα αυτό;

α)

Καθαρό Νερό

β)

Διάλυμα Βρωμίου

γ)

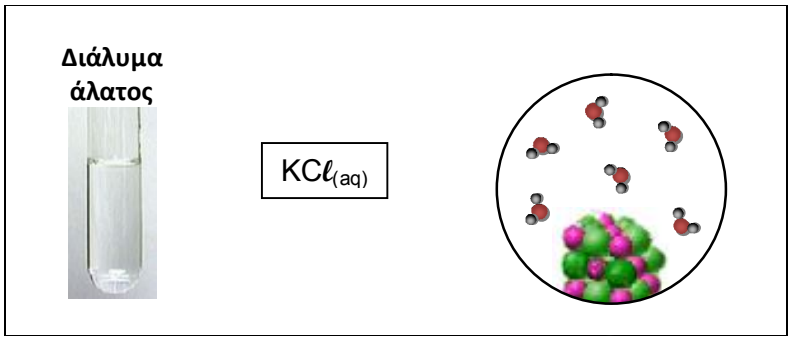
Μίγμα Θείου-Σιδήρου

δ)

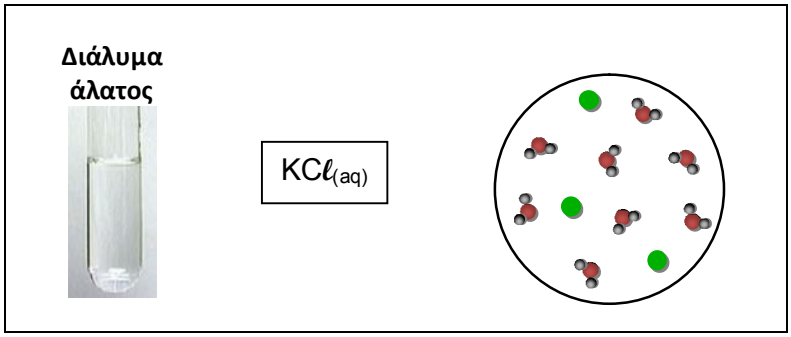
Νιτρικό κάλιο

14) Σε ποια από τις παρακάτω τριάδες η φωτογραφία, ο χημικός τύπος και το σχέδιο των σωματιδίων απεικονίζουν την ίδια ουσία;

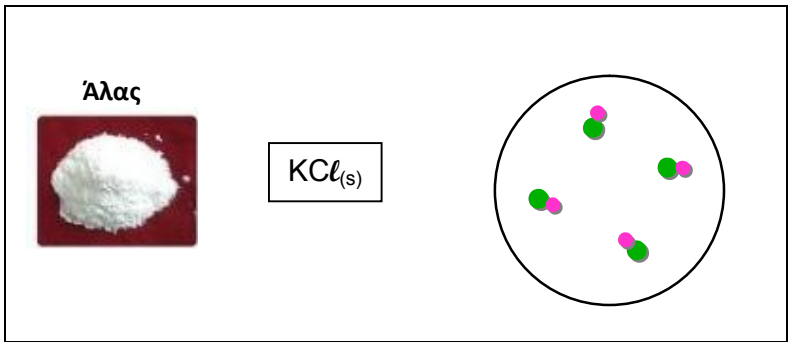
α)



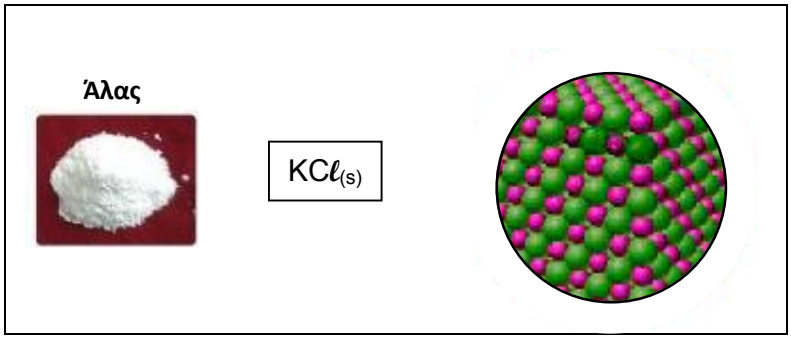
β)



γ)

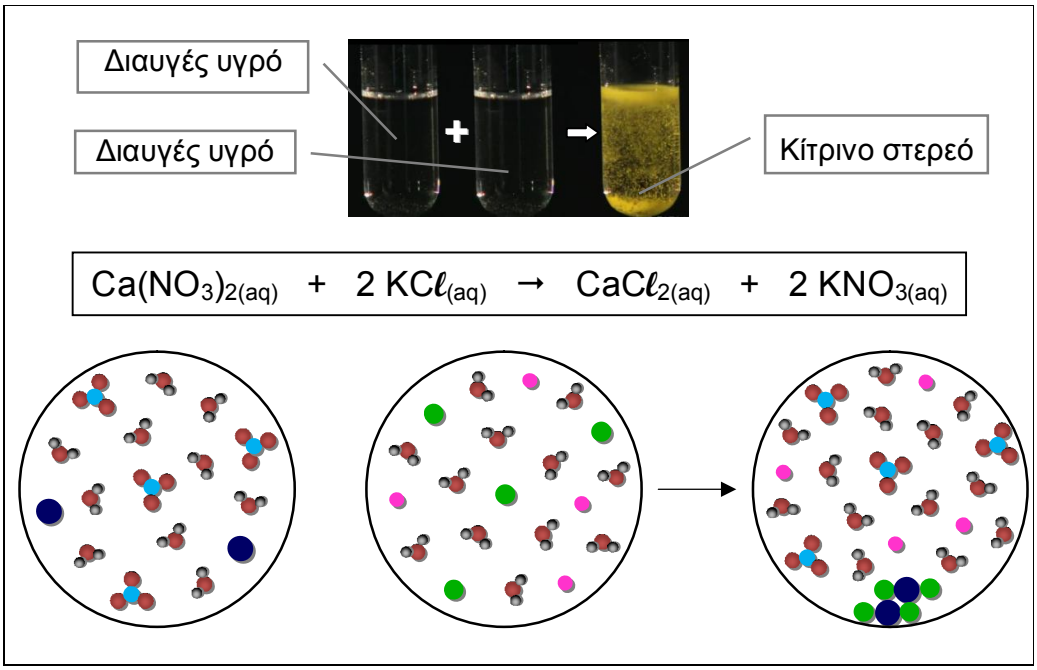


δ)

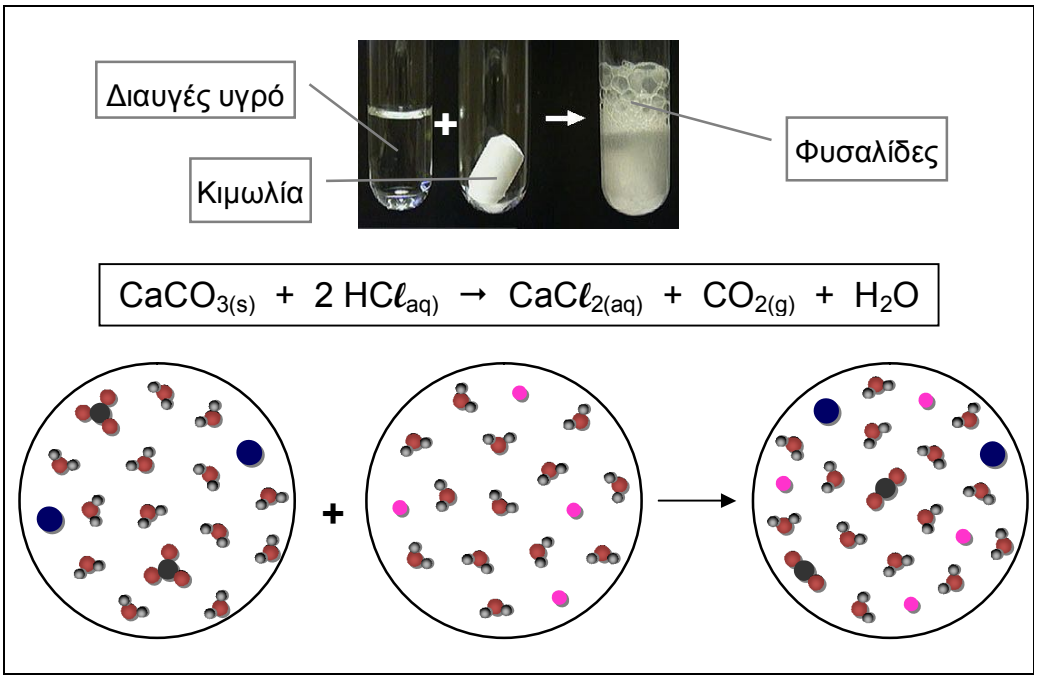


15) Ποια από τις παρακάτω τριάδες α, β, γ ή δ απεικονίζει την ίδια χημική αντίδραση;

α)

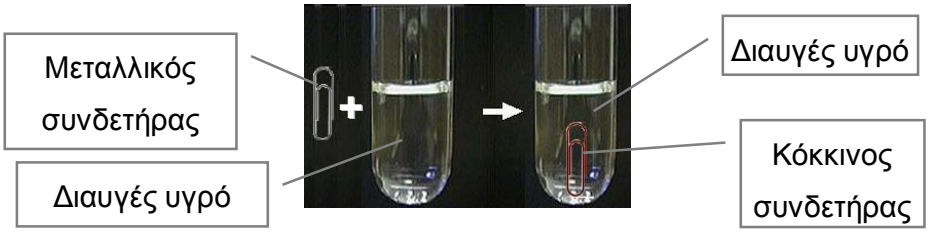


β)

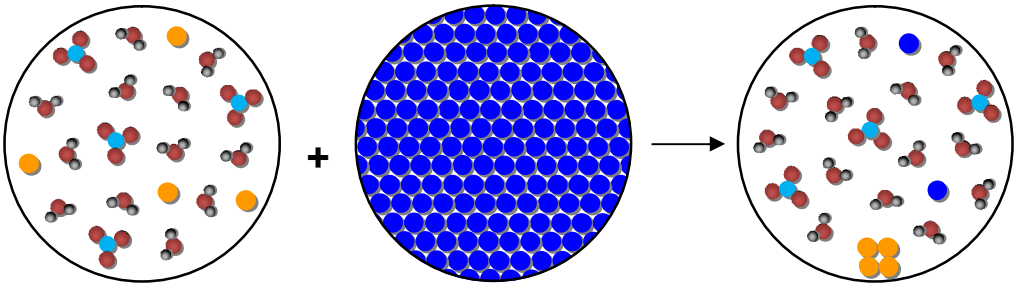


συνέχεια απαντήσεων→

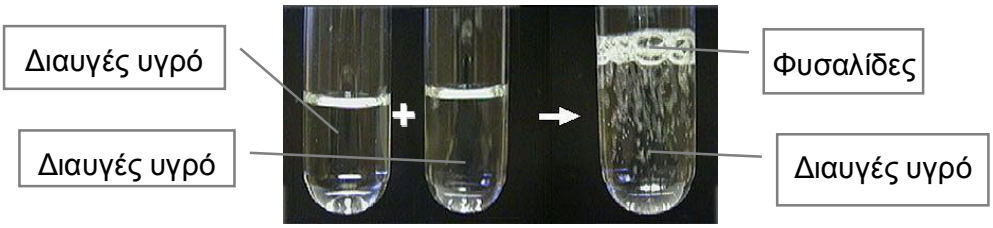
γ)



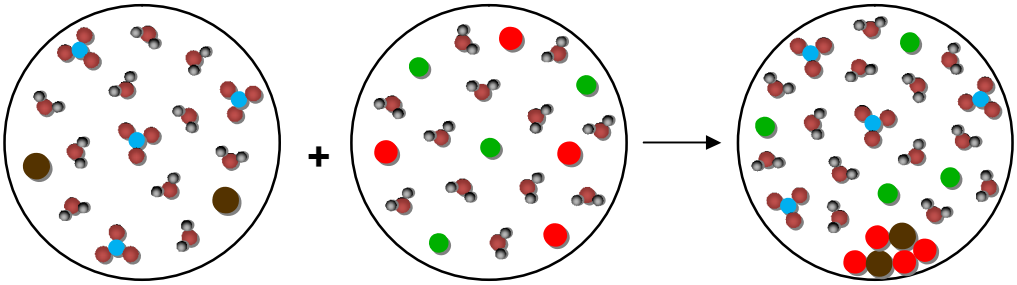
$$Fe_{(s)} + 2\ CuNO_{3(aq)} \rightarrow 2\ Cu_{(s)} + Fe(NO_3)_{2(aq)}$$



δ)



$$2\ KI_{(aq)} + Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + 2\ KNO_{3(aq)}$$



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Πίνακας 1: Δείκτες εγκυρότητας και αξιοπιστίας για το ερωτηματολόγιο (1η έκδοση) από την εφαρμογή στην Πιλοτική έρευνα.

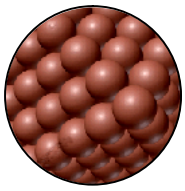
ΕΡΩΤΗΣΗ	Μέση τιμή αν η ερώτηση παραλειφθεί	Διακύμανση αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης συνάφειας Pearson	Cronbach's a αν η ερώτηση παραλειφθεί
1	5,6264	5,148	0,138	0,515
2	6,0549	5,030	0,266	0,487
3	5,8352	5,228	0,092	0,526
4	5,9670	5,166	0,148	0,512
5	5,4396	5,005	0,312	0,480
6	6,0000	5,089	0,200	0,500
7	5,6044	4,886	0,271	0,483
8	6,0769	5,005	0,300	0,481
9	5,9780	5,244	0,113	0,519
11	5,6923	5,038	0,179	0,505
12	5,9890	5,100	0,189	0,502
13	5,6374	5,234	0,097	0,525
14	5,6154	4,750	0,337	0,466
15	5,9121	5,237	0,099	0,524
ΣΥΝΟΛΟ 14 ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ				
Μέση τιμή: 6,2637		Διακύμανση: 5,685		a = 0,52

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ – 2^{Η} ΕΚΔΟΣΗ

- **Στις ερωτήσεις που θα συναντήσετε παρακάτω οι χρωματιστοί κύκλοι συμβολίζουν σωματίδια (άτομα ή ιόντα).**
- **Στις περιπτώσεις που είναι απαραίτητο δίνεται η αντιστοιχία χρώματος και σωματιδίου. Στις υπόλοιπες δεν είναι απαραίτητο.**

1) Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει την ουσία αυτή;

α)

Χρυσός

β)

Αέριο Φθόριο

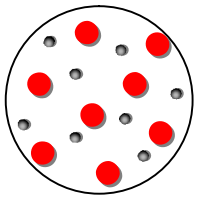
γ)

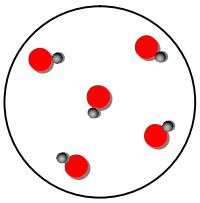
Ανθρακικό ασβέστιο

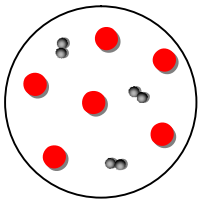
δ)

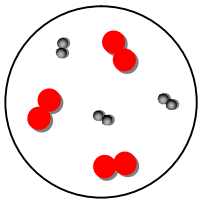
Υγρό Βρώμιο

2) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τα σωματίδια μιας ουσίας η οποία είναι **αέρια** και έχει **μοριακό τύπο HI**;

α) 

β) 

γ) 

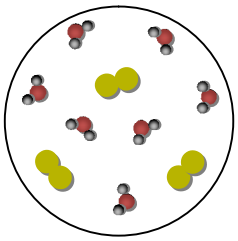
δ) 

3) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:

Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **χημικός τύπος** της ουσίας αυτής;

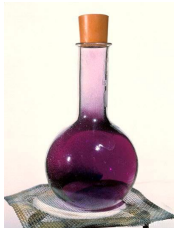
α) $LiBr_{(s)}$ β) $LiCN_{(s)}$ γ) $LiBr_{(g)}$ δ) $LiCN_{(aq)}$

4) Δίνεται το σχήμα:



Ποια από τις παρακάτω φωτογραφίες αντιστοιχεί στο σχήμα αυτό;

α)



Ατμοί Ιωδίου (Αέριο Ιώδιο)

β)

Διάλυμα Βρωμίου

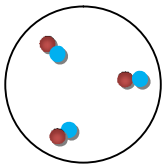
γ)

Μίγμα Θείου-Σιδήρου

δ)

Θειικός Σίδηρος

5) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



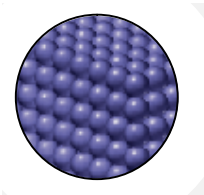
Ποιος από τους παρακάτω είναι ο **μοριακός τύπος** της ουσίας αυτής;

α) NO β) $(NO)_3$ γ) N_3O_3 δ) 3 NO

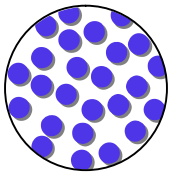
6) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα κομμάτι **μεταλλικού νατρίου**:

Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τη δομή των σωματιδίων στην ουσία αυτή;

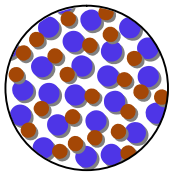
α)



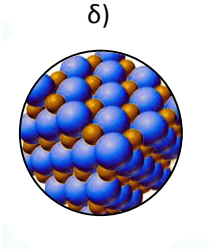
β)



γ)

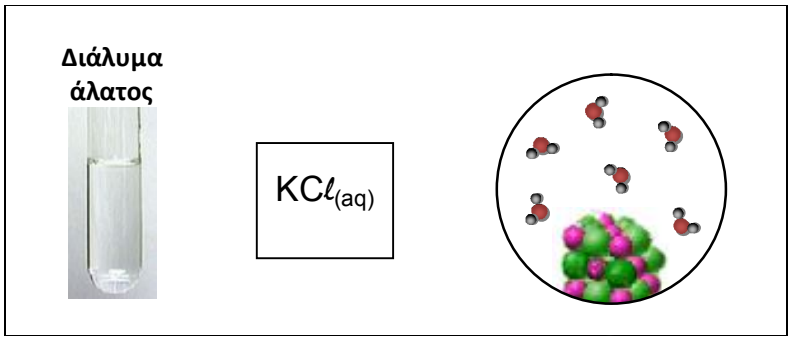


δ)

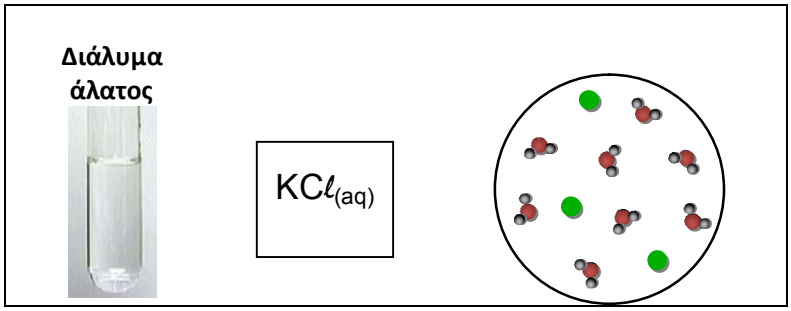


7) Σε ποια από τις παρακάτω τριάδες η φωτογραφία, ο χημικός τύπος και το σχέδιο των σωματιδίων απεικονίζουν την ίδια ουσία;

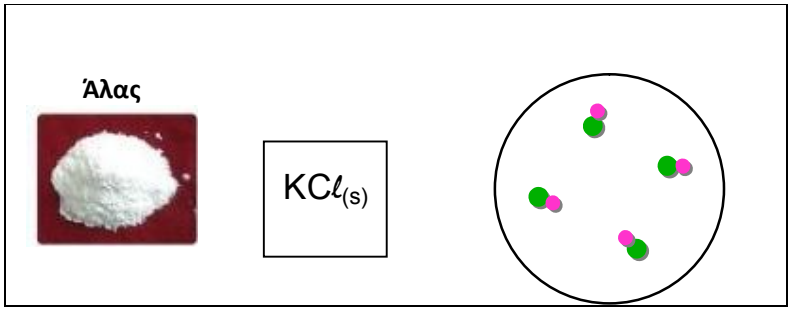
α)



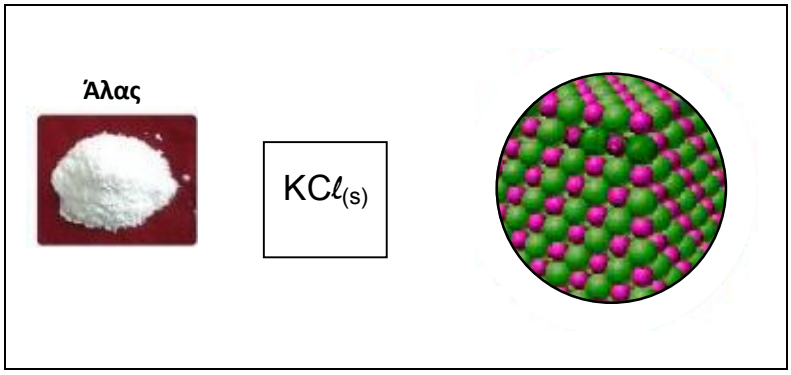
β)



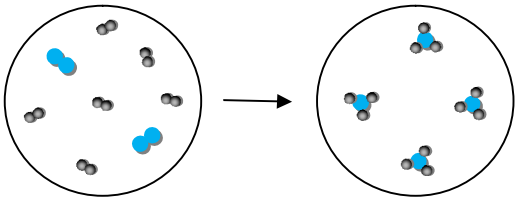
γ)



δ)



8) Το παρακάτω σχήμα δείχνει την αντίδραση μεταξύ του αζώτου και του υδρογόνου:



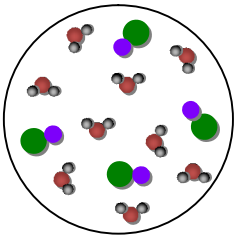
Δίνονται οι συμβολισμοί:
: άτομο υδρογόνου (H)
: άτομο αζώτου (N)

Στο παρακάτω πλαίσιο να γράψετε τη **χημική εξίσωση** της αντίδρασης αυτής:

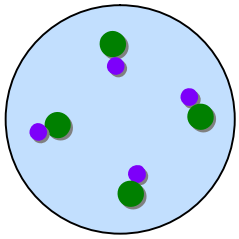
9) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει πληρέστερα το συμβολισμό $\mathbf{KF_{(aq)}}$;

Δίνονται οι συμβολισμοί: : μόριο νερού, : ιόν καλίου, : ιόν φθορίου

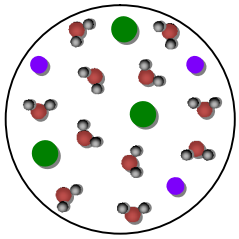
α)



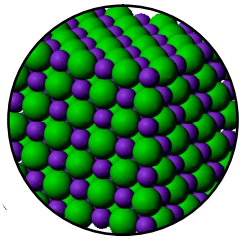
β)



γ)

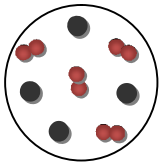


δ)

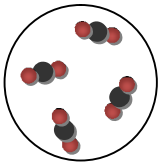


10) Ποια από τις παρακάτω εικόνες απεικονίζει τα σωματίδια μιας ουσίας η οποία συμβολίζεται $\mathbf{CO_{2(s)}}$;

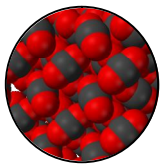
α)



β)



γ)



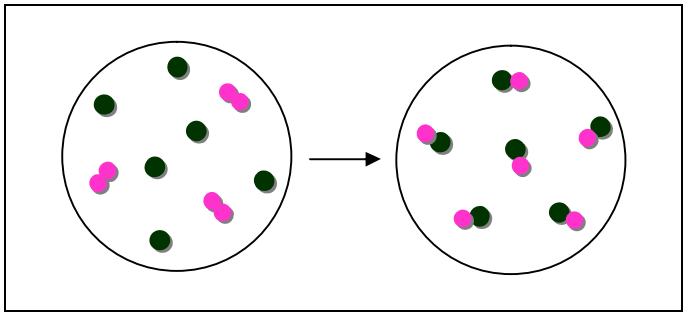
δ)

11) Η αντίδραση του αντιμονίου με το χλώριο συμβολίζεται με τη χημική εξίσωση:

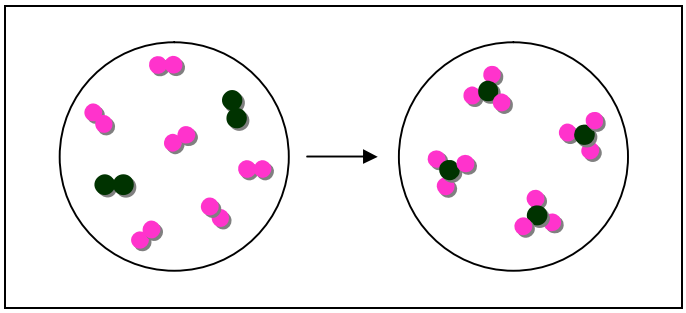
$$2\ Sb + 3\ C\ell_2 \rightarrow 2\ SbC\ell_3$$

Ποια από τα παρακάτω σχήματα α, β, γ ή δ απεικονίζει την αντίδραση αυτή;

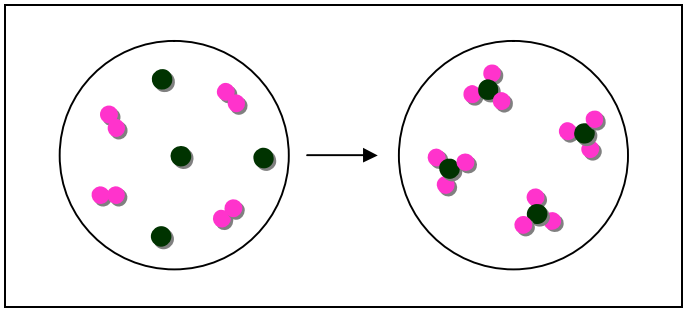
α)



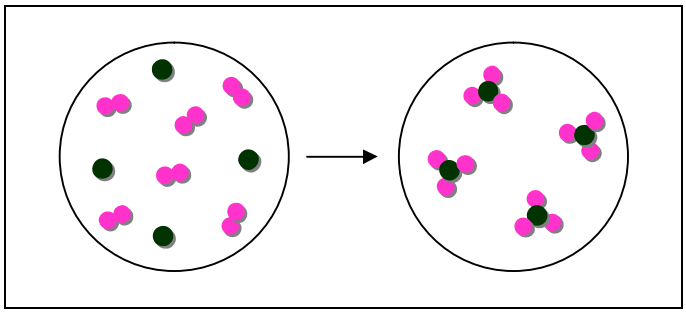
β)



γ)



δ)

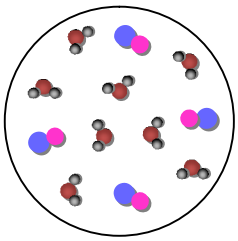


12) Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα ποτήρι με **αλατόνερο**:

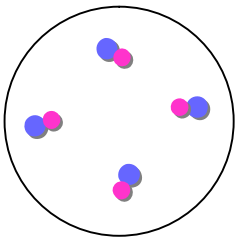
Ποια από τα παρακάτω σχήματα απεικονίζει τα σωματίδια στο αλατόνερο;

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

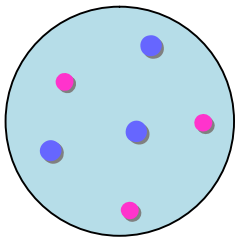
α)



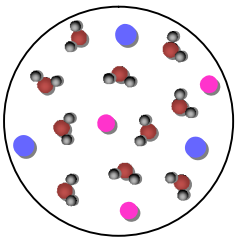
β)



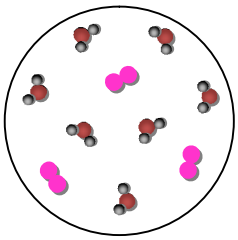
γ)



δ)



13) Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια ενός **υδατικού** διαλύματος:



Δίνονται οι συμβολισμοί:

: άτομο υδρογόνου

: άτομο οξυγόνου

: άτομο χλωρίου

Πως συμβολίζεται το διάλυμα αυτό;

α) $C\ell_{2(\ell)}$

β) $C\ell_{2\,(aq)}$

γ) $C\ell_2H_2O_{\,(aq)}$

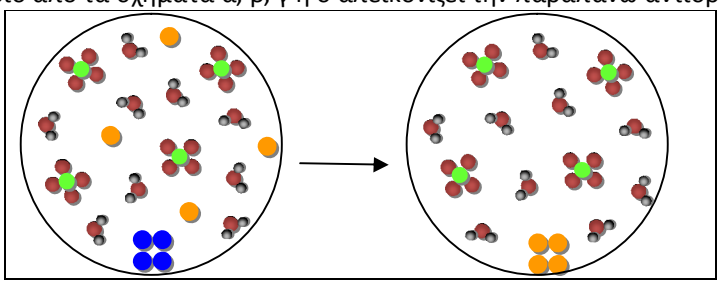
δ) $C\ell_2$ και H_2O

14) Ο σίδηρος αντιδρά με το θειικό χαλκό, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η οποία δείχνει: τα αντιδρώντα (i), την αντίδραση (ii) και τα προϊόντα (iii).

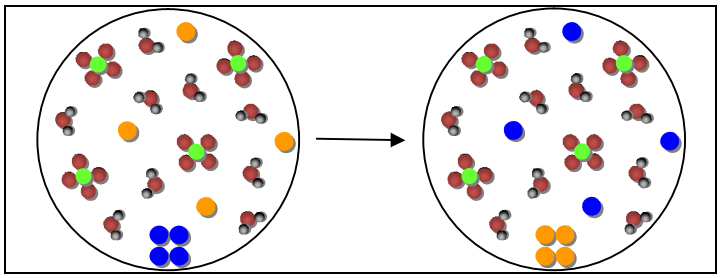
Αντιδρώντα **(i)** ***Η αντίδραση*** **(ii)** ***Προϊόντα*** **(iii)**

Ποιο από τα σχήματα α, β, γ ή δ απεικονίζει την παραπάνω αντίδραση (ii);

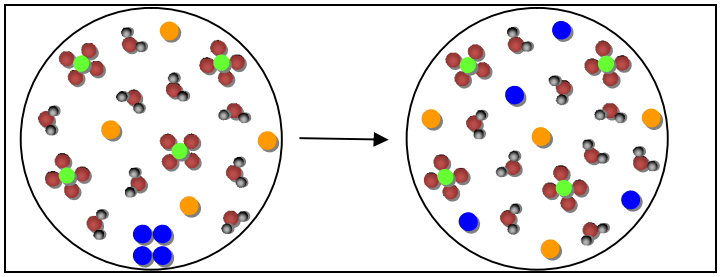
α)



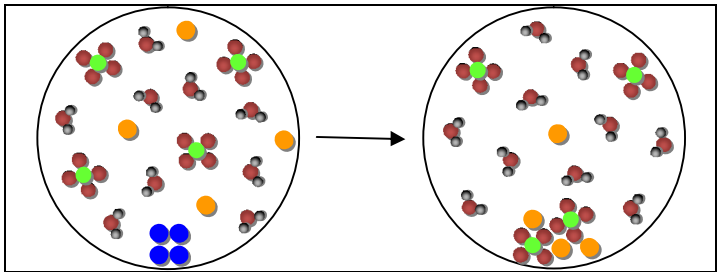
β)



γ)



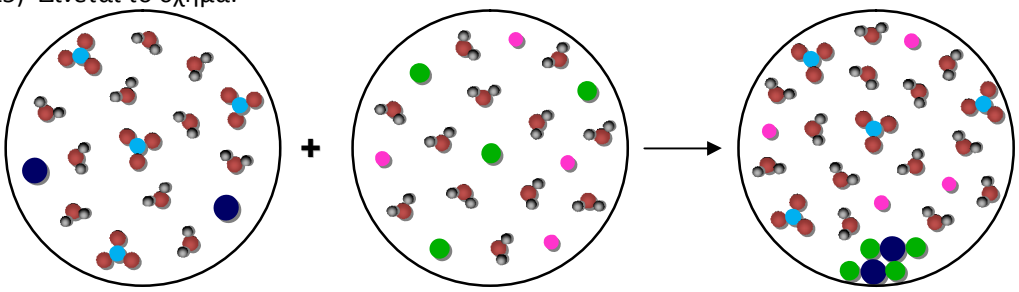
δ)



Δίνονται οι συμβολισμοί:

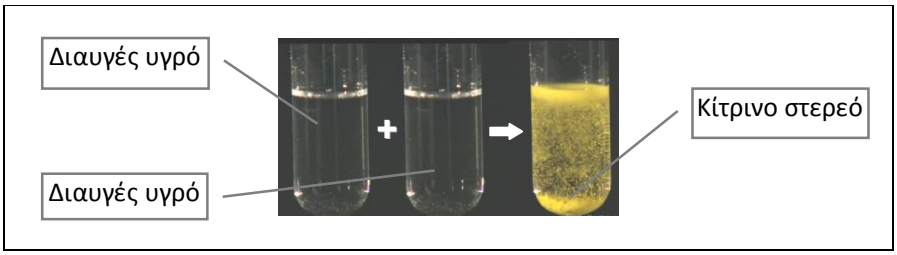
- : άτομο-ιόν σιδήρου
- : άτομο-ιόν χαλκού
- : θειικό ιόν
- : μόριο νερού

15) Δίνεται το σχήμα:

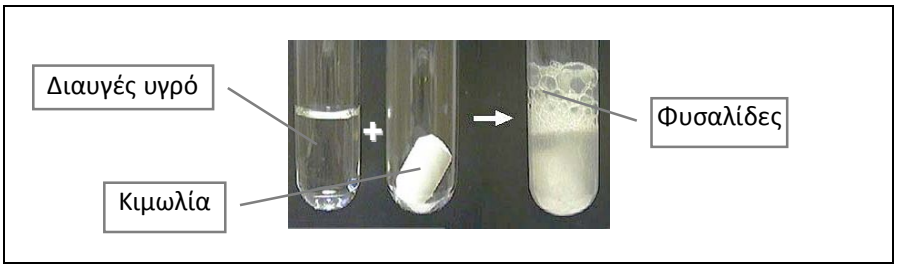


Ποια από τις παρακάτω αντιδράσεις αντιστοιχεί στο σχήμα αυτό;

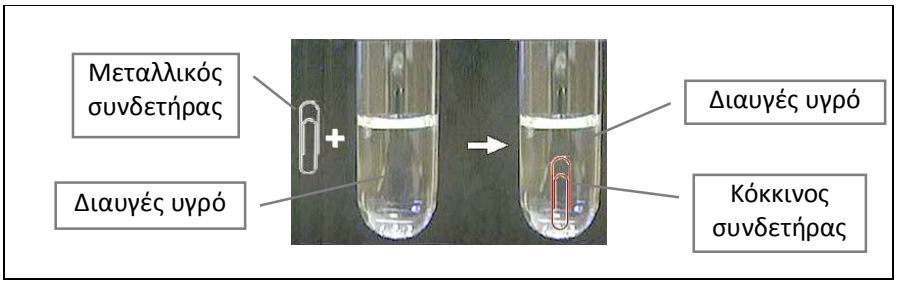
α)



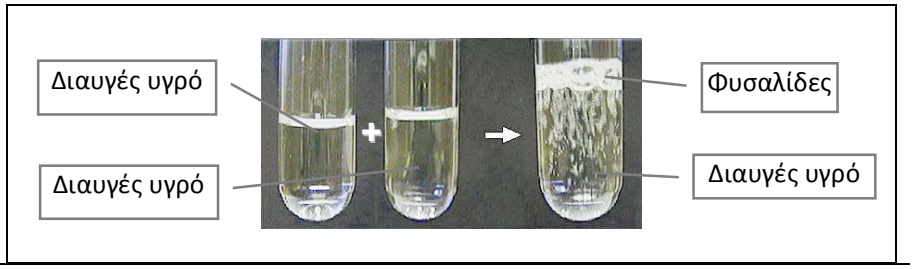
β)



γ)



δ)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ (2η ΕΚΔΟΣΗ) ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ

Πίνακας 1: Δείκτες εγκυρότητας και αξιοπιστίας στους μαθητές.

ΕΡΩΤΗΣΗ	Μέση τιμή αν η ερώτηση παραλειφθεί	Διακύμανση αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης συνάφειας Pearson	Cronbach's *α* αν η ερώτηση παραλειφθεί
1	4,8670	5,776	0,217	0,529
2	4,8562	5,728	0,241	0,524
3	5,0472	5,753	0,222	0,528
4	5,1803	5,924	0,177	0,538
5	4,9549	5,918	0,226	0,530
6	4,9399	5,816	0,147	0,545
7	5,2639	5,412	0,191	0,535
8	5,1824	6,089	0,499	0,478
9	5,2017	6,161	0,102	0,552
10	5,1545	5,593	0,075	0,557
11	5,0708	5,885	0,323	0,507
12	5,1609	6,445	0,167	0,540
13	5,1502	5,702	0,304	0,515
14	5,3326	6,016	-0,057	0,582
15	5,2768	5,783	0,270	0,519
ΣΥΝΟΛΟ 15 ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ				
Μέση τιμή: 5,4742		Διακύμανση: 6,525		a = 0,55

Πίνακας 2: Δείκτες εγκυρότητας και αξιοπιστίας στους μαθητές μετά την απόρριψη των μη έγκυρων ερωτήσεων.

ΕΡΩΤΗΣΗ	Μέση τιμή αν η ερώτηση παραλειφθεί	Διακύμανση αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης συνάφειας Pearson	Cronbach's *α* αν η ερώτηση παραλειφθεί
1	3,5858	4,329	0,250	0,579
2	3,5751	4,322	0,256	0,577
3	3,7661	4,244	0,288	0,570
4	3,8991	4,504	0,188	0,592
5	4,0515	4,673	0,187	0,590
6	3,6738	4,422	0,192	0,593
7	3,6588	4,432	0,188	0,594
8	3,9828	4,086	0,500	0,527
11	3,8734	4,240	0,322	0,562
13	3,9957	4,421	0,296	0,570
15	3,8691	4,329	0,271	0,574
ΣΥΝΟΛΟ 11 ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ				
Μέση τιμή: 4,1931		Διακύμανση: 5,077		a = 0,60

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ (2η ΕΚΔΟΣΗ) ΣΤΟΥΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ

Πίνακας 1: Δείκτες εγκυρότητας και αξιοπιστίας στους φοιτητές.

ΕΡΩΤΗΣΗ	Μέση τιμή αν η ερώτηση παραλειφθεί	Διακύμανση αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης συνάφειας Pearson	Cronbach's *α* αν η ερώτηση παραλειφθεί
1	10,1977	7,572	0,374	0,711
2	10,0930	7,709	0,395	0,710
3	10,0349	7,940	0,353	0,715
4	10,2326	7,381	0,437	0,703
5	10,3140	7,630	0,310	0,719
6	9,9535	8,327	0,285	0,723
7	10,0233	7,929	0,379	0,713
8	10,0698	7,783	0,386	0,711
9	10,2558	7,275	0,470	0,699
10	10,3372	8,626	-0,052	0,760
11	10,1628	7,926	0,244	0,725
12	10,1395	7,510	0,442	0,704
13	10,2674	7,492	0,376	0,710
14	10,3953	7,842	0,222	0,729
15	10,2209	7,209	0,516	0,694
ΣΥΝΟΛΟ 15 ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ				
Μέση τιμή: 10,9070		Διακύμανση: 8,721		a = 0,73

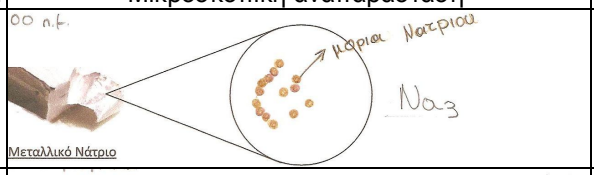
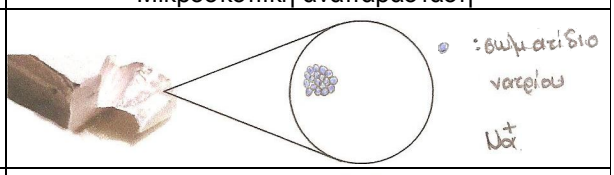
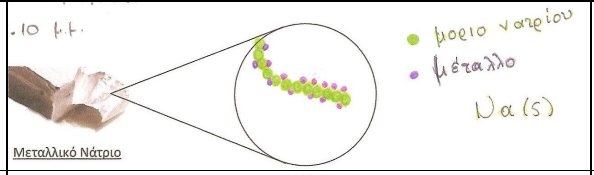
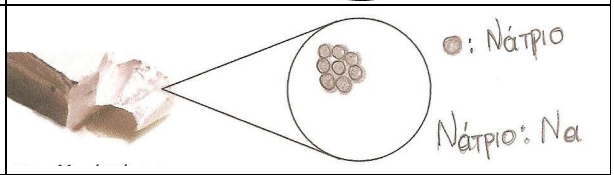
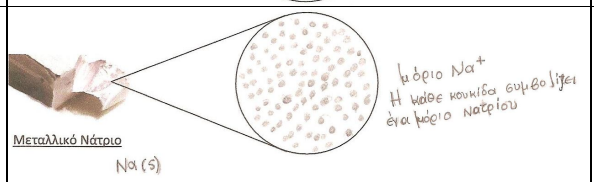
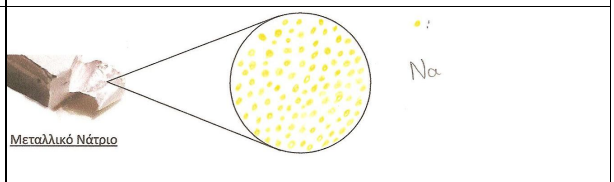
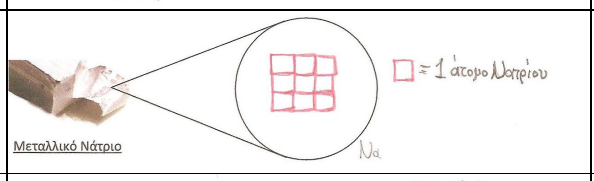
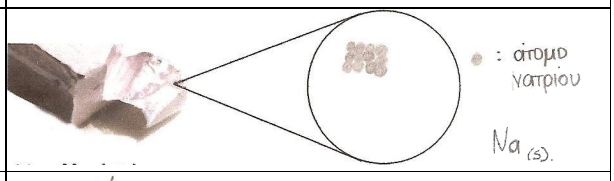
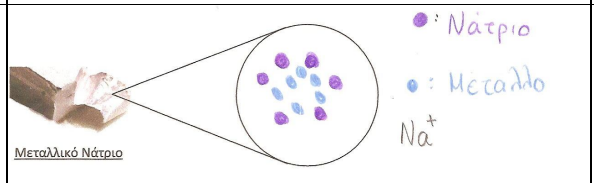
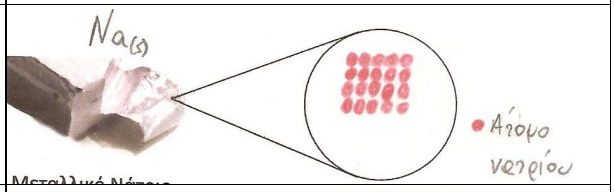
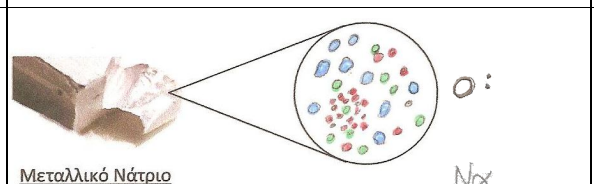
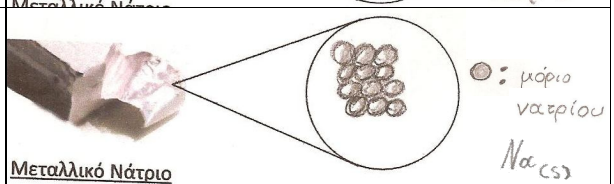
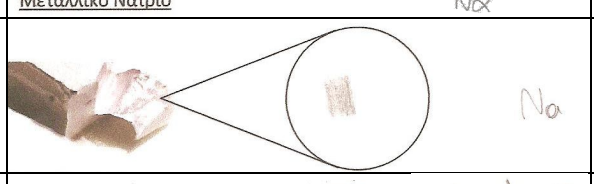
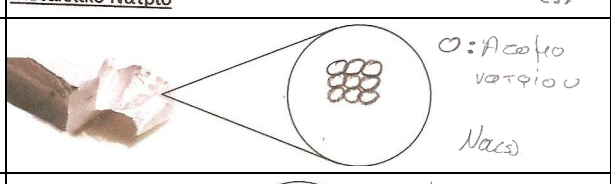
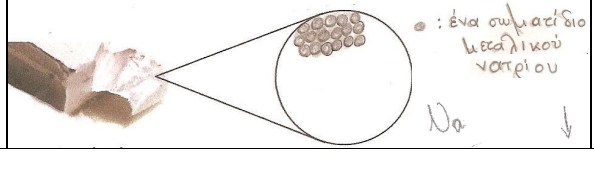
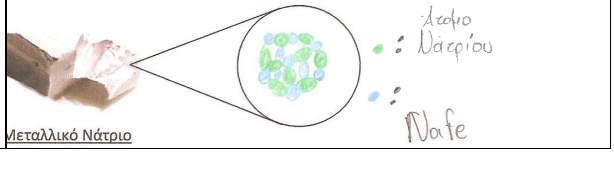
Πίνακας 2: Δείκτες εγκυρότητας και αξιοπιστίας στους φοιτητές μετά την απόρριψη των μη έγκυρων ερωτήσεων.

ΕΡΩΤΗΣΗ	Μέση τιμή αν η ερώτηση παραλειφθεί	Διακύμανση αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης συνάφειας Pearson	Cronbach's *α* αν η ερώτηση παραλειφθεί	Δείκτης Διακριτικής Ικανότητας
1	9,6279	7,460	0,384	0,746	0,49
2	9,5233	7,570	0,419	0,743	0,41
3	9,4651	7,852	0,351	0,749	0,36
4	9,6628	7,285	0,440	0,739	0,68
5	9,7442	7,487	0,331	0,752	0,58
6	9,3837	8,239	0,281	0,756	0,18
7	9,4535	7,851	0,372	0,748	0,36
8	9,5000	7,665	0,401	0,745	0,50
9	9,6860	7,159	0,482	0,735	0,77
11	9,5930	7,844	0,240	0,760	0,46
12	9,5698	7,401	0,452	0,739	0,54
13	9,6977	7,437	0,363	0,748	0,73
14	9,8256	7,699	0,242	0,762	0,73
15	9,6512	7,100	0,526	0,730	0,73
ΣΥΝΟΛΟ 14 ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ					
Μέση τιμή: 10,3372		Διακύμανση: 8,626			a = 0,76

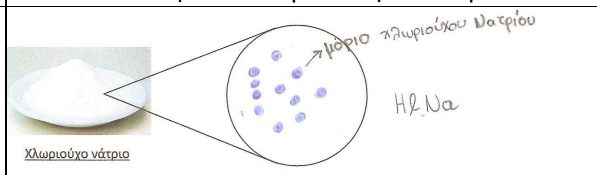
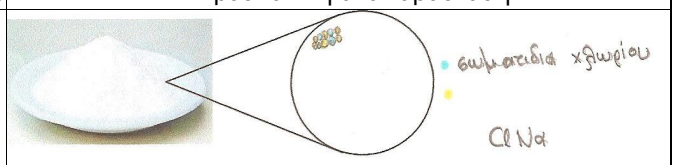
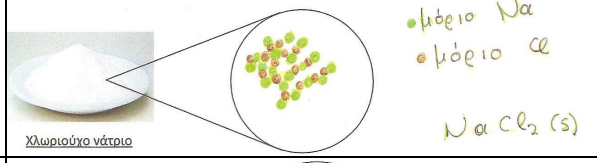
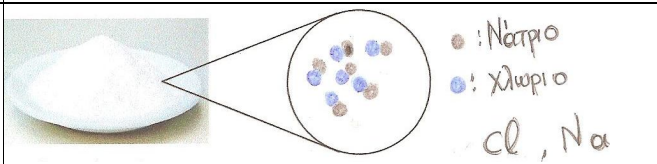
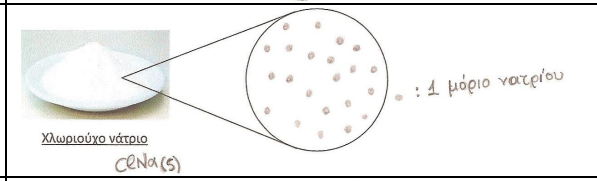
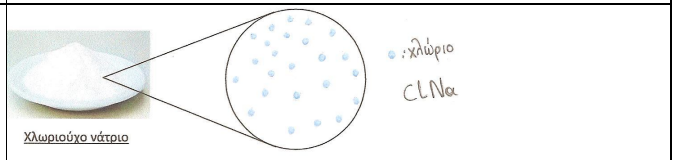
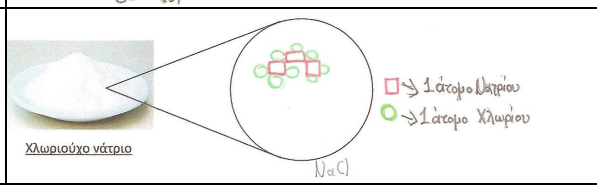
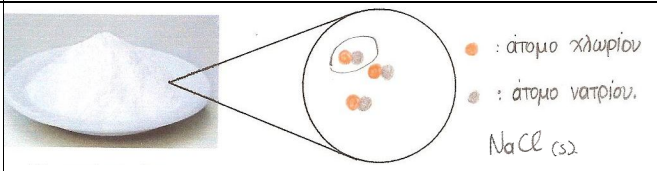
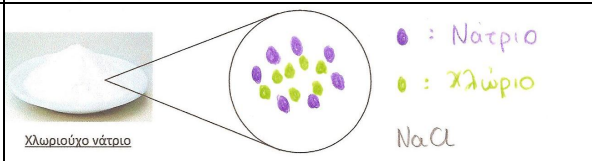
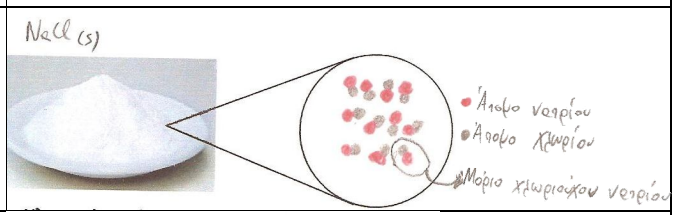
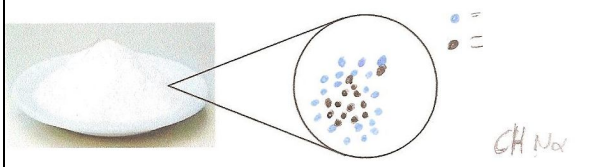
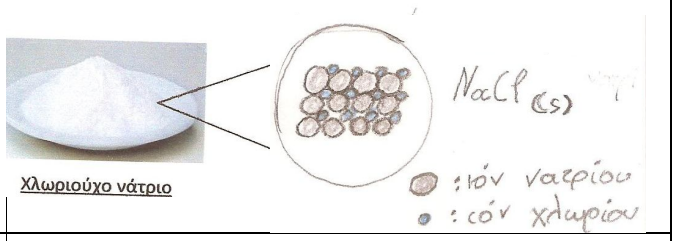
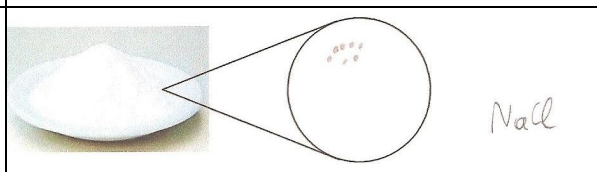
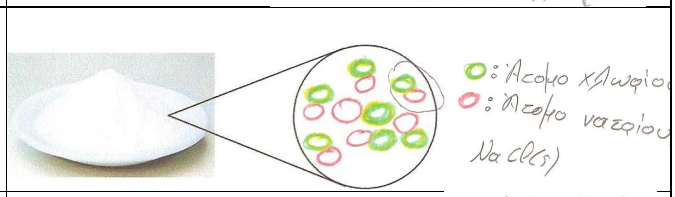
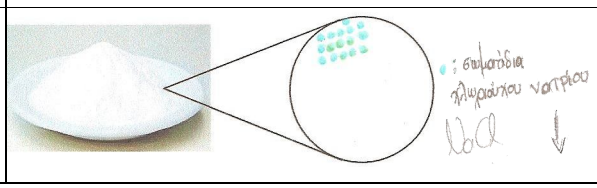
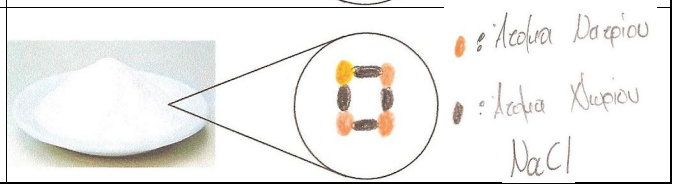
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

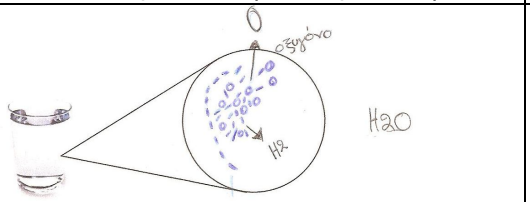
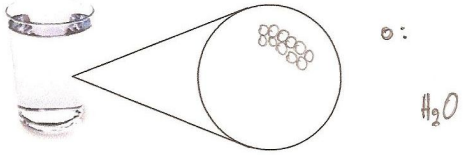
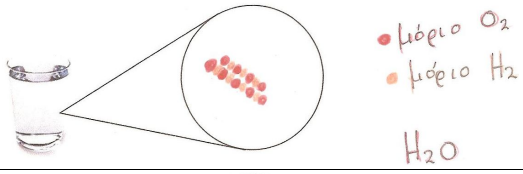
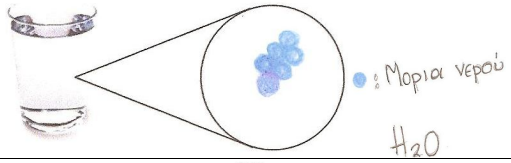
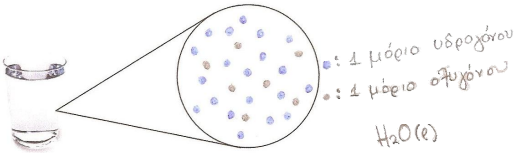
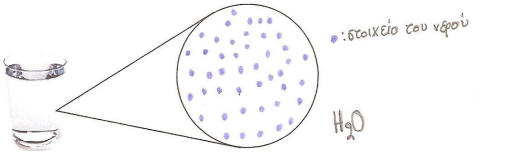
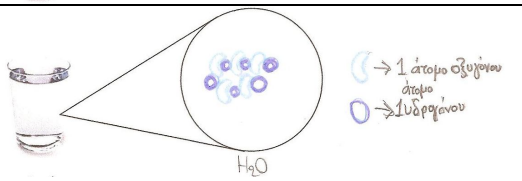
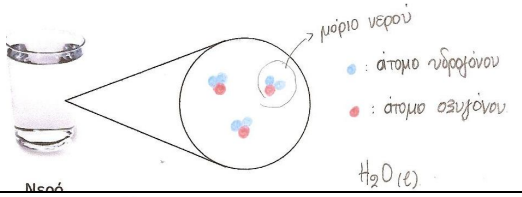
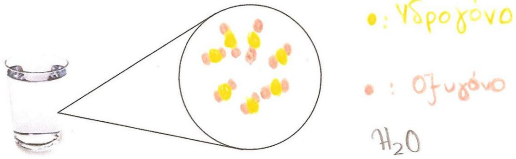
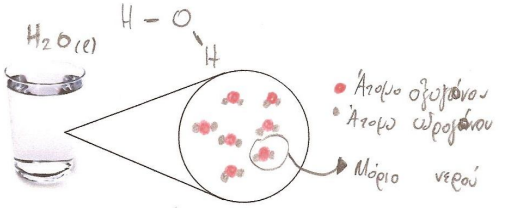
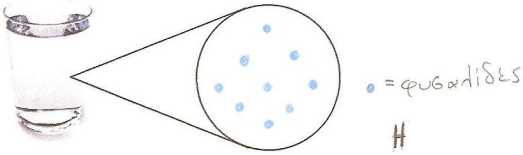
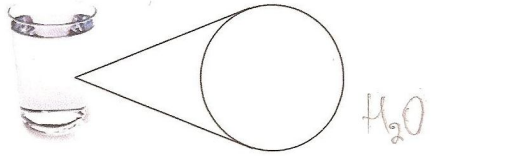
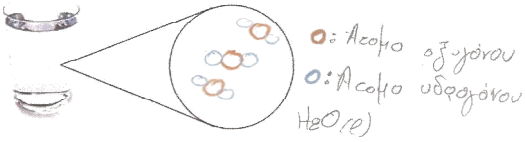
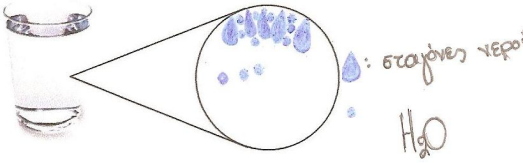
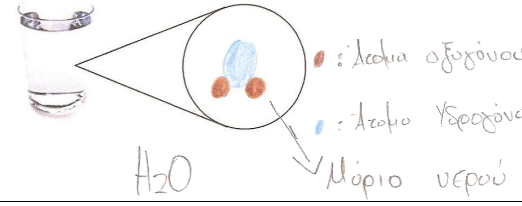
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «μεταλλικό νάτριο» στην ποιοτική έρευνα.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

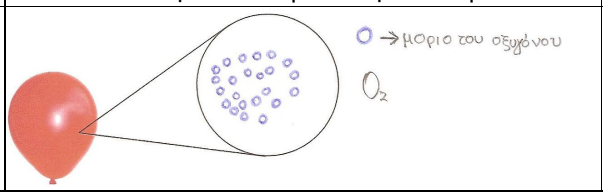
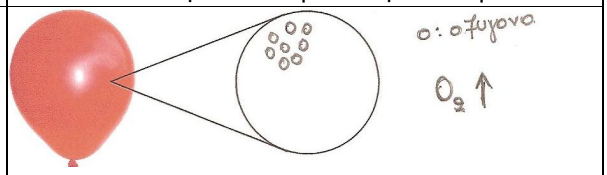
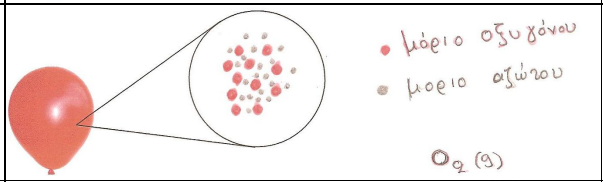
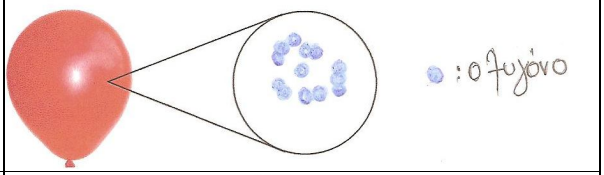
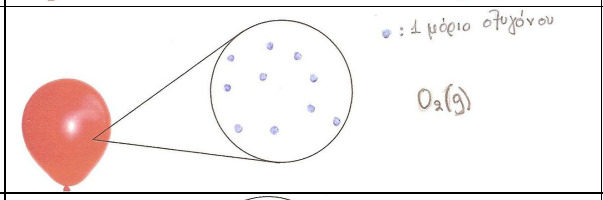
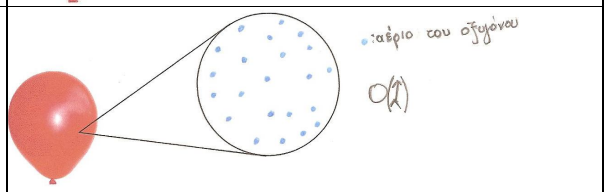
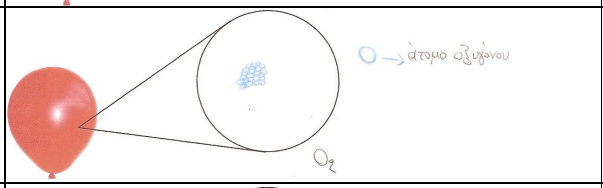
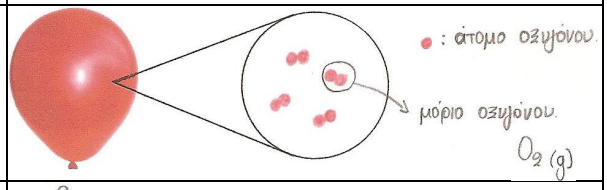
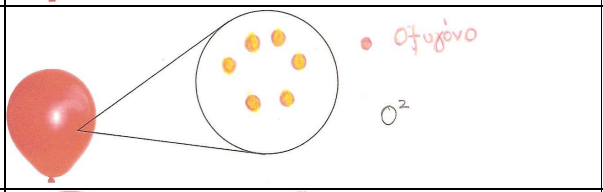
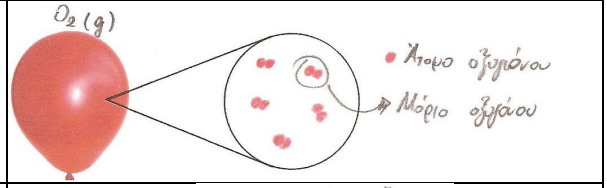
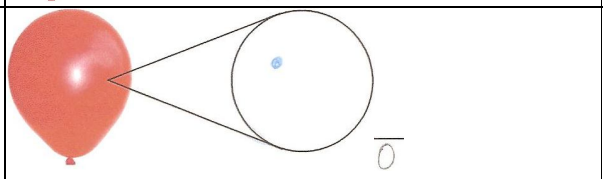
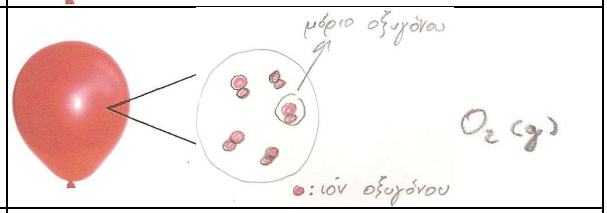
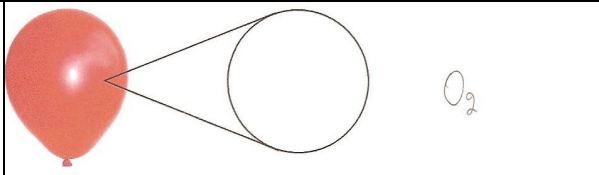
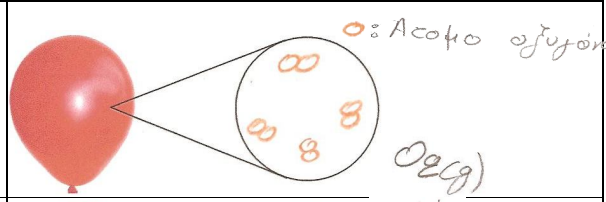
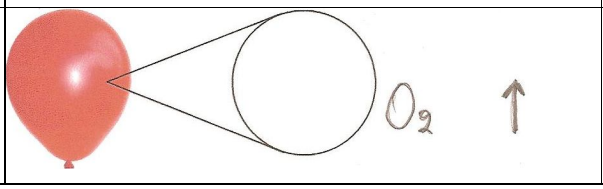
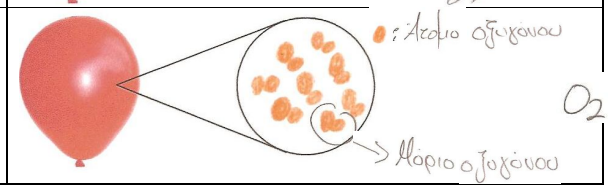
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «χλωριούχο νάτριο» στην ποιοτική έρευνα.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

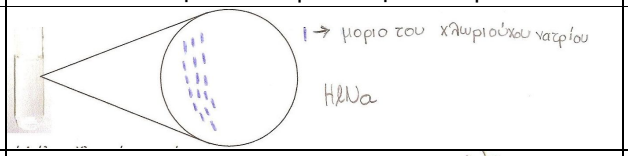
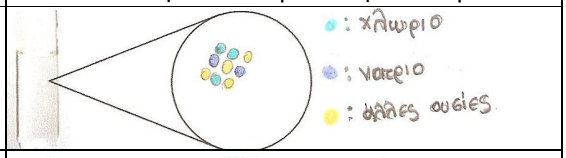
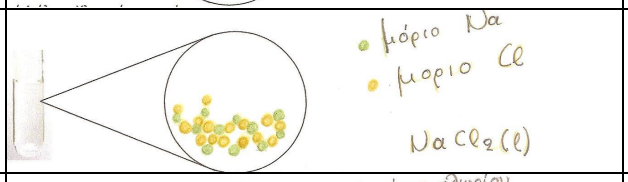
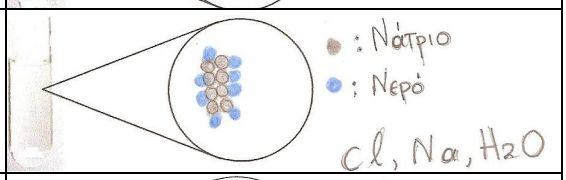
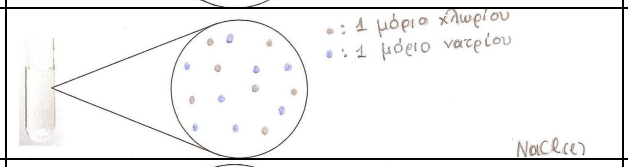
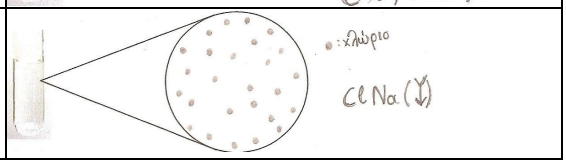
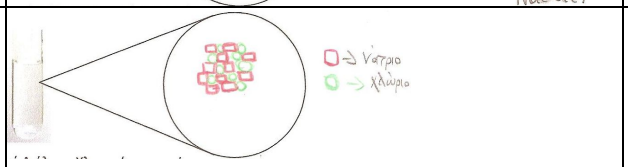
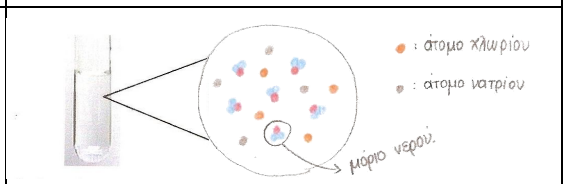
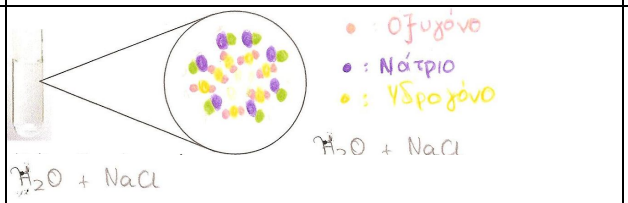
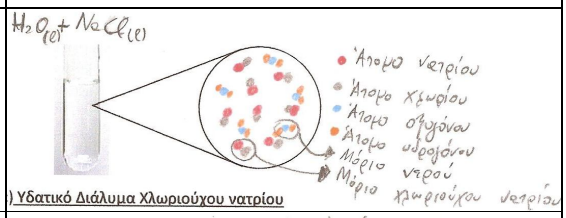
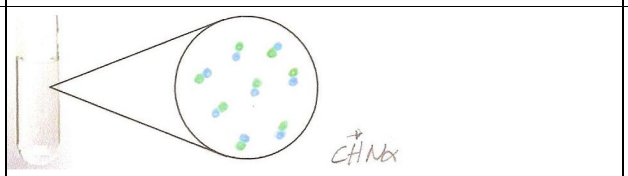
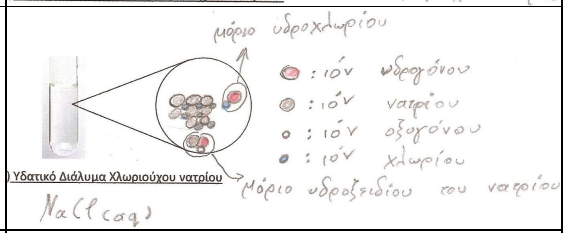
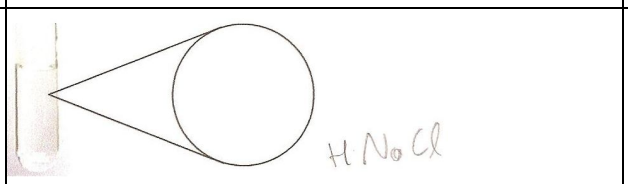
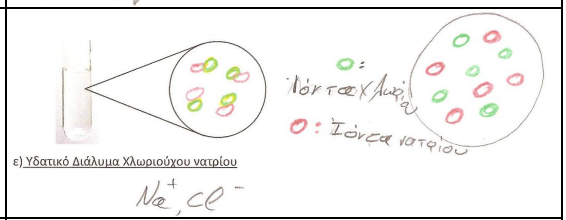
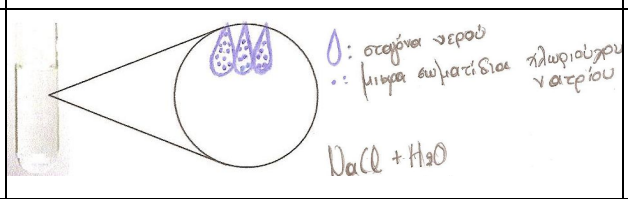
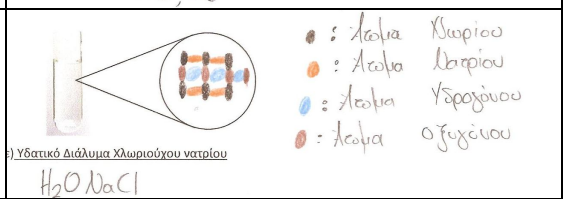
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «νερό» στην ποιοτική έρευνα.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

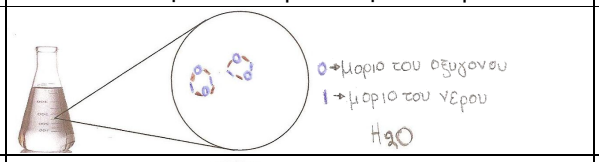
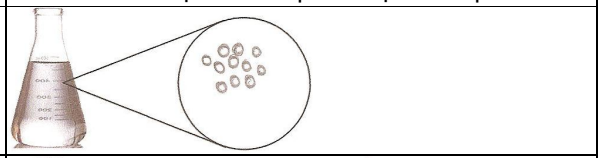
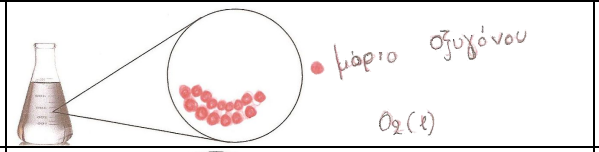
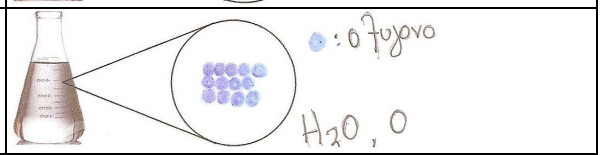
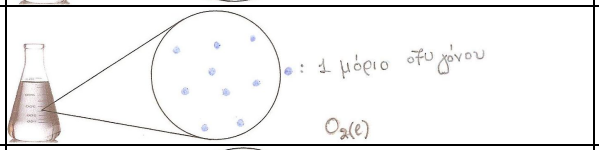
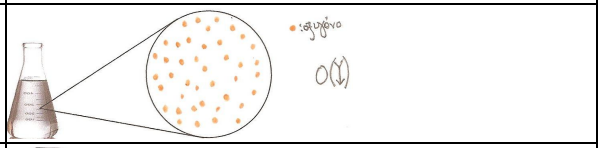
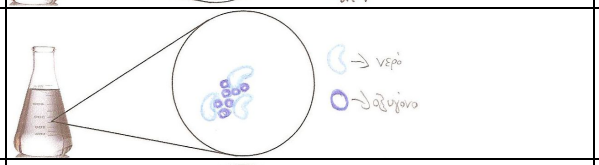
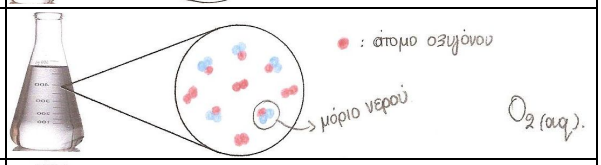
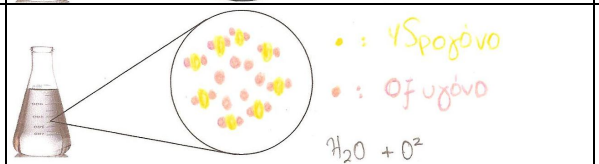
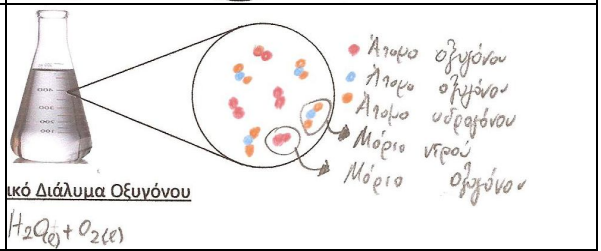
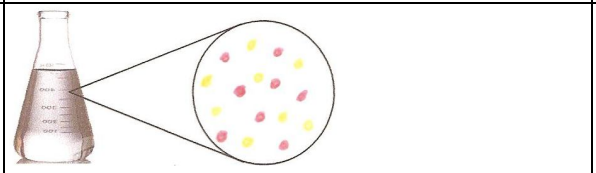
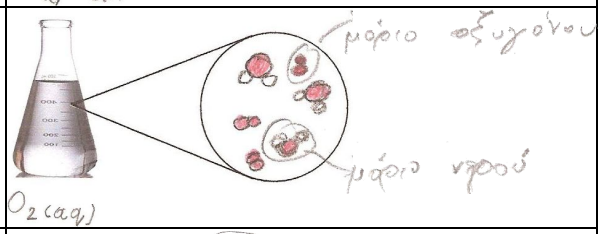
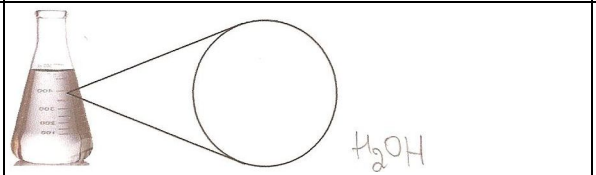
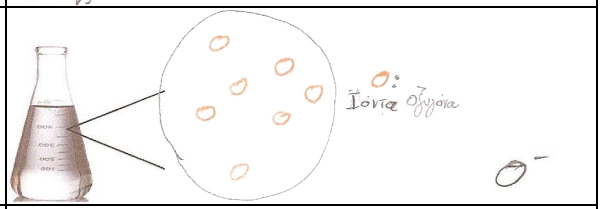
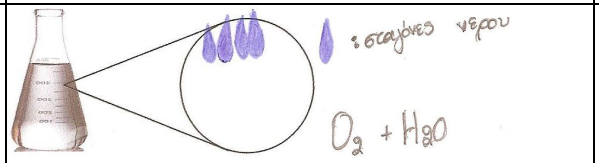
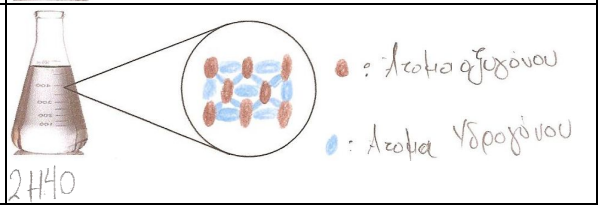
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «αέριο οξυγόνο» στην ποιοτική έρευνα.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου» στην ποιοτική έρευνα.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Οι μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές για το «υδατικό διάλυμα οξυγόνου» στην ποιοτική έρευνα και οι εξηγήσεις τους.

Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση	Περ.	Μικροσκοπική αναπαράσταση
1η		9η	
2η		10η	
3η		11η	
4η		12η	
5η		13η	
6η		14η	
7η		15η	
8η		16η	

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. J.K. Gilbert, Visualization: A metacognitive skill in science and science education, *in J.K. Gilbert: Visualization in science education,* Springer, 2005, pp. 9-27.
2. O.T. Benfey, August Kekulé and the birth of the structural theory of organic chemistry in 1858, *Journal of Chemical Education*, vol. 35, no. 1, 1958, pp. 21-23.
3. J.K. Gilbert, Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education, *in J.K. Gilbert: Visualization: Theory and Practice in Science Education*, Springer, pp. 3–24, 2008.
4. A.T. Balaban, Visual Chemistry: Three-Dimensional Perception of Chemical Structures, *Journal of Science Education and Technology*, vol. 8, no. 4, 1999, pp. 251-255.
5. W. Winn, Learning from maps and diagrams, *Educational Psychology Review*, vol. 3, 1991, pp. 211–247.
6. R.B. Kozma & J. Russell, Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 34, no. 9, 1997, pp. 949-968.
7. M. Hegarty, P.A. Carpenter and M.A. Just, Diagrams in the comprehension of scientific texts, *in R. Barr, M. L. Kamil, & P. D. Pearson (Eds.), Handbook of reading research,* New York: Longman, vol. II, 1991, pp. 641–668.
8. H.K. Wu and P. Shah, Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning, *Science Education*, vol. 88, 2004, pp. 465-492.
9. D.F. Treagust, G. Chittleborough and T.L. Mamiala, The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical

Explanations, *International Journal of Science Education*, vol. 25, no. 11, 2003, pp. 1353–1368.

10. V. Talanquer, Students' Predictions about the Sensory Properties of Chemical Compounds: Additive Versus Emergent Frameworks, *Science Education*, vol. 92, 2008, pp. 96-114.

11. S. Vosniadou and C. Ioannides, From Conceptual Development to Science Education: a Psychological Point of View, *International Journal of Science Education*, vol. 20, no 10, 1998, pp. 1213-1230.

12. S. Vosniadou and W.F. Brewer, Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood, *Cognitive Psychology*, vol. 24, 1992, pp. 535-585.

13. Ν. Χαριστός, *Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού Τρισδιάστατης Οπτικοποίησης Ιδιοτήτων της Μοριακής Δομής*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2005.

14. M.R. Abraham, E.B. Grybowski, J.W. Renner and E.A. Marek, Understanding and misunderstanding of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, no. 2, 1992, pp. 105–120.

15. M.R. Abraham, V.M. Williamson and S.L. Westbrook, A cross-age study of understanding five chemistry concepts, *Journal of Research in Science Education*, vol. 31, no. 2, 1994, pp. 147–165.

16. R. Ben-Zvi, B. Eylon and J. Silberstein, Is an Atom of Copper Malleable?, *Journal of Chemical Education*, vol. 63, no. 1, 1986, pp. 64-66.

17. R. Ben-Zvi, B. Eylon and J. Silberstein, Students' Visualization of a Chemical Reaction, *Education in Chemistry*, July 1987, pp. 117-120.

18. W. de Vos and A.H. Verdonk, A new road to reactions, *Journal of Chemical Education*, vol. 64, no. 8, 1987, pp. 692–694.

19. J.J. Hesse and J.W. Anderson, Students' Conceptions of Chemical Change, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, no. 3, 1992, pp. 277–279.

20. S. Novick and J. Nussbaum, Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, *Science Education*, vol. 65, no. 2, 1981, pp. 187-196.

21. R. Hoffmann and R. Laszlo, Representation in Chemistry, *Angewandte Chemie*, vol. 30, 1991, pp. 1–16.

22. V. Talanquer, Macro, Submicro, and Symbolic: The Many Faces of the Chemistry "Triplet", *International Journal of Science Education*, vol. 33, no. 2, 2011, pp. 179–195.

23. A.H. Johnstone, Why is Science Difficult to Learn? Things are Seldom What They Seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, 1991, pp. 75-83.

24. A.H. Johnstone, The Development of Chemistry Teaching, *Journal of Chemical Education*, vol. 70, no. 9, 1993, pp. 701-705.

25. O. de Jong and J. van Driel, Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics, *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 2, no. 4, 2004, pp. 477-491.

26. C. Bowen, Item Design Considerations for Computer-Based Testing of Student Learning in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, vol. 75, no. 9, 1998, pp. 1172-1175.

27. P.A. Wegner and A.F. Montana, Dynamic Visualization of Chemical and Instructional Concepts and Processes in Beginning Chemistry, *Journal of Chemical Education*, vol. 70, no. 2, 1993, pp. 151.

28. G. Chittleborough and D. Treagust, Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another, *Research in Science Education*, vol. 38, 2008, pp. 463–482.

29. J. Gobert and J. Clement, Effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, no. 1, 1999, pp. 39-53.

30. R.B. Kozma and J. Russell, Students becoming chemists: Developing representational competence, *in J.K. Gilbert: Visualization in science education*, Springer, 2005, pp. 121-146.

31. G. Bodner and D. Domin, *The Role of Representations in Problem Solving in Chemistry*, On-Line Symposium, 1996.

32. G. Bodner and T. McMillen, Cognitive Restructuring As an Early Stage In Problem Solving, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 23, 1986, pp. 727-737.

33. C. Carter, M. LaRussa and G. Bodner, A Study Of Two Measures Of Spatial Ability As Predictors Of Success In Different Levels Of General Chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 24, 1987, pp. 645-657.

34. L.T. Rappoport and G. Ashkenazi, Connecting Levels of Representation: Emergent versus Submergent Perspective, *International Journal of Science Education*, vol. 30, no. 12, 2008, pp. 1585–1603.

35. B. Davidowitz and G. Chittleborough, Linking the Macroscopic and Sub-Microscopic Levels: Diagrams, *in J.K. Gilbert and D. Treagust: Multiple Representations in Chemical Education*, Springer, 2009, pp. 169-191.

36. D. Gabel, Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future, *Journal of Chemical Education*, vol. 76, no. 4, 1999, pp. 548-554.

37. K. Salta and C. Tzougraki, Conceptual versus Algorithmic Problem-Solving: Focusing on Problems Dealing with Conservation of Matter in Chemistry, *Research in Science Education*, vol. 41, 2011, pp. 587-609.

38. J.M. Nyachwaya, A. Mohamed, G.H. Roehrig, N.B. Wood, A.L. Kern and J.L. Schneider, The Development of an Open-Ended Drawing Tool: An

Alternative Diagnostic Tool for Assessing Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 12, 2011, pp. 121-132.

39. R. Ben-Zvi, B. Eylon and J. Silberstein, Theories, principles and laws, *Education in Chemistry*, 1988, pp. 89–92.

40. P. Keig and P. Rubba, Translation of Representations of the structure of Matter and its Relationship to reasoning, Gender, Spatial Reasoning, and Specific Prior Knowledge, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, no. 8, 1993, pp. 883-903.

41. A. L. Chandrasegaran, D.F. Treagust and M. Mocerino, The Development of a Two-tier Multiple-Choice Diagnostic Instrument for Evaluating Secondary School Students' Ability to Describe and Explain Chemical Reactions Using Multiple Levels of Representation, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 8, no. 3, 2007, pp. 293-307.

42. P.J. Garnett, P.J. Garnett and M.W. Hackling, Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, vol. 25, 1995, pp. 69–95.

43. J.S. Krajcik, Developing students' understanding of chemical concepts, In Y. S. M. Glynn, R. H. Yanny, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science: International perspective on the psychological foundations of technology-based learning environments,* Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1991, pp. 117–145.

44. M. Cook, E.N. Wiebe and G. Carter, The Influence of Prior Knowledge on Viewing and Interpreting Graphics With Macroscopic and Molecular Representations, *Science Education*, vol. 92, no. 5, 2008, pp. 848-867.

45. M.W. Hackling and P.J. Garnett, Misconceptions of Chemical Equilibrium, *European Journal in Science Education*, vol. 7, 1985, pp. 205-214.

46. E. Gussarsky and M.J. Gorodetsky, On the Concept “Chemical Equilibrium”: The As-sociative Framework, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, 1990, pp. 197-204.

47. M.B. Nakhleh, Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, vol. 70, no. 1, 1993, pp. 52–55.

48. I. Kermen and M. Meheut, Different Models Used to Interpret Chemical Changes: Analysis of a Curriculum and its Impact on French Students’ Reasoning, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 10, 2009, pp. 24-34.

49. S.P. Madden, L.L. Jones and J. Rahm, The Role of Multiple Representations in the Understanding of Ideal Gas Problems, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 12, 2011, pp. 283-293.

50. M. Potgieter, J.M. Rogan and S. Howie, Chemical concepts inventory of Grade 12 learners and UP foundation year students, *African Journal of Research in SMT Education*, Vol. 9, no. 2, 2005, pp. 121-134.

51. G.O.M. Onwu and E. Randall, Some aspects of student understanding of representational model of the particular nature of matters in Chemistry in three different countries, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 7, no.4, 2006, pp. 226-236.

52. B. Davidowitz, G. Chittleborough and E. Murray, Student-Generated Submicro Diagrams: A Useful Tool for Teaching and Learning Chemical Equations and Stoichiometry, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 11, 2010, pp. 154-164.

53. U. Ramnarain and A. Joseph, Learning Difficulties Experienced by Grade 12 South African Students in the Chemical Representation of Phenomena, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 13, 2012, pp. 462-470.

54. C. Furio, M.L. Calatayud, S.L. Barcenas and O.M. Padilla, Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in

chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules, *Science Education*, vol. 84, no. 5, 2000, pp. 545–565.

55. A.A. Rozzelle and S.M. Rosenfeld, Stereoscopic projection in organic chemistry: Bridging the gap between two and three dimensions, *Journal of Chemical Education*, vol. 62, no. 12, 1985, pp. 1084–1085.

56. G.M. Seddon, P.A. Eniaiyeju and L.H.L. Chia, The factor structure for mental rotations of three-dimensional structures represented in diagrams, *Research in Science and Technological Education*, vol. 3, no. 1, 1985, pp. 29–42.

57. G.M. Seddon and K.E. Shubber, Learning the visualization of three-dimensional spatial relationships in diagrams at different ages in Bahrain, *Research in Science and Technological Education*, vol. 3, no. 2, 1985, pp. 97–108.

58. G.M. Seddon and P.A. Eniaiyeju, The understanding of pictorial depth cues, and the ability to visualise the rotation of three-dimensional structures in diagrams. *Research in Science and Technological Education*, vol. 4, no. 1, 1986, pp. 29–37.

59. A.R. Srinivasan and W.K. Olson, Viewing stereo drawings, *Journal of Chemical Education*, vol. 66, no. 8, 1989, pp. 664–665.

60. K.E. Shubbar, Learning the visualization of rotations in diagrams of three-dimensional structures, *Research in Science and Technological Education*, vol. 8, no. 2, 1990, pp. 145–154.

61. H. Tuckey, M. Selvaratnam and J. Bradley, Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection, *Journal of Chemical Education*, vol. 68, no. 6, 1991, pp. 460–464.

62. D. Gabel, K. Samuel and D. Hunn, Understanding The Particulate Nature of Matter, *Journal of Chemical Education*, vol. 68, no. 8, 1987, pp. 695-697.

63. J.S. Krajcik, Students' interactions with science software containing dynamic visuals, *Paper presented at the annual meeting of the American Anthropological Association*, Washington, DC, 1989.

64. A.K. Griffiths and K.R. Preston, Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, no. 6, 1992, pp. 611–628.

65. M.B. Nakhleh, Why some students don't learn chemistry, *Journal of Chemical Education*, vol. 69, no. 3, 1992, pp. 191–196.

66. K.J. Smith and P.A. Metz, Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representations, *Journal of Chemical Education*, vol. 73, no. 3, 1996, pp. 233-235.

67. I. Devetak and S.A. Glazar, The Influence of 16-year-old Students' Gender, Mental Abilities, and Motivation on their Reading and Drawing Submicrorepresentations Achievements, *International Journal of Science Education*, vol. 32, no. 12, 2010, pp. 1561–1593.

68. A.L. Kern, N.B. Wood, G.H. Roehrig and J. Nyachwaya, A Qualitative Report of the Ways High School Chemistry Students Attempt to Represent a Chemical Reaction at the Atomic/Molecular Level, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 11, 2010, pp. 165-172.

69. S. Vosniadou, Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change, *Learning and Instruction*, vol. 4, 1994, pp. 45-69.

70. I. Devetak, E. Drofenik Lorber, M. Jurisevic and S.A. Glazar, Comparing Slovenian Year 8 and Year 9 Elementary School Pupils' Knowledge of Electrolyte Chemistry and Their Intrinsic Motivation, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 10, 2009, pp. 281-290.

71. S.C. Nurrenbern and M. Pickering, Concept Learning versus Problem Solving: Is There a Difference?, *Journal of Chemical Education*, vol. 64, no. 6, 1987, pp. 508-510.

72. B.A. Sawrey, Concept Learning versus Problem Solving: Revised, *Journal of Chemical Education*, vol. 67, no. 3, 1990, pp. 253-254.

73. D. Gabel, Use of the Particle Nature of Matter in Developing Conceptual Understanding, *Journal of Chemical Education*, vol. 70, no. 3, 1993, pp. 193-194.

74. M.B. Nakhleh and J.S. Krajcik, Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies on Students' Understanding of Acid, Base, and pH Concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, no. 10, 1994, pp. 1077-1096.

75. T. Noh and L.C. Scharmann, Instructional Influence of a Molecular-Level Pictorial Presentation of Matter on Students' Conceptions and Problem-Solving Ability, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 34, no. 2, 1997, pp. 199-217.

76. M.J. Sanger, Using Particulate Drawings to Determine and Improve Students' Conceptions of Pure Substances and Mixtures, *Journal of Chemical Education*, vol. 77, no. 6, 2000, pp. 762-766.

77. M.J. Sanger and T.J. Greenbowe, Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies, *International Journal of Science Education*, vol. 22, no. 5, 2000, pp. 521–537.

78. J. Finnan, K. Taylor-Papp and M. Duran, Seeing the Unseen, *Learning & Leading with Technology*, vol. 32, no. 4, 2004, pp. 24-29.

79. B. Venkataraman, Visualization and Interactivity in the Teaching of Chemistry to Science and Non-Science Students, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 10, 2009, pp. 62-69.

80. R. Dalton, R. Tasker and R. Sleet, Research into Practice: Using Molecular Representations as a Learning Strategy in Chemistry, *Proceeding of the Research and Development into University Science Teaching and Learning Workshop*, The University of Sydney, 2001.

81. K. de Berg, A Study of First-Year Chemistry Students' Understanding of Solution Concentration at the Tertiary Level, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 13, 2012, pp. 8-16.

82. A.H. Haidar and M.R. Abraham, A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, no. 10, 1991, pp. 919–938.

83. W. de Vos and A.H. Verdonk, The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, no. 6, 1996, pp. 657–664.

84. A.G. Harrison and D.F. Treagust, Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry, *Science Education*, vol. 84, no. 3, 2000, pp. 352–381.

85. G.M. Bodner, Constructivism: A Theory of Knowledge, *Journal of Chemical Education*, vol. 63, no. 10, 1986, pp. 873-877.

86. J. Russel and R. Kozma, 4M:Chem-multimedia and mental models in chemistry, *Journal of Chemical Education*, vol. 71, no. 8, 1994, pp. 669–670.

87. N. Barnea and Y.J. Dori, Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching, *Journal of Chemical Information and Computer Science*, vol. 36, 1996, pp. 629–636.

88. J.W. Russel, R.B. Kozma, T. Jones, J. Wykoff, N. Marx and J. Davis, Use of simultaneous, synchronized macroscopic, microscopic and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts, *Journal of Chemical Education*, vol. 74, 1997, pp. 330–334.

89. D. Ardac and S. Akaygun, Effectiveness of Multimedia-Based Instruction That Emphasizes Molecular Representations on Students' Understanding of Chemical Change, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41, no. 4, 2004, pp. 317-337.

90. I. Devetak, M. Urbancic, K.S. Wissiak Grm, D. Krnel and S.A. Glazar, Submicroscopic Representations as a Tool for Evaluating Students'

Chemical Conceptions, *Acta Chimica Slovenica*, vol. 51, 2004, pp. 799−814.

91. D. Ardac and S. Akaygun, Using static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level, *International Journal of Science Education*, vol. 27, no. 11, 2005, pp. 1269-1298.

92. J.K. Gilbert and D. Treagust, Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education, *in J.K. Gilbert and D. Treagust: Multiple Representations in Chemical Education*, Springer, 2009, pp. 1-8.

93. G. Lawrie, T. Appleton, T. Wright and J. Stewart, Using Multiple Representations to Enhance Understanding of Molecular Structure: A Blended Learning Activity, *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education*, 2009.

94. S. Ainsworth, The functions of multiple representations, *Computers & Education*, vol. 33, 1999, pp. 131–152.

95. A. Paivio, Dual Coding Theory and Education, *Draft chapter for the conference on "Pathways to Literacy Achievement for High Poverty Children," The University of Michigan School of Education*, 2006.

96. D.N. Rapp, Mental models: theoretical issues for visualizations in science education, *in J.K. Gilbert: Visualization in science education*, Springer, 2005, pp. 43-60.

97. S. Kalyuga, P. Chandler and J. Sweller, Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction, *Applied Cognitive Psychology*, vol. 13, 1999, pp. 351-371.

98. B. Tversky, J.B. Morrison and M. Betrancourt, Animation: Can it facilitate?, *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 57, 2002, pp. 247-262.

99. B. Tversky, Prolegomenon to Scientific Visualizations, *in J.K. Gilbert: Visualization in science education*, Springer, 2005, pp. 29-42.

100. V. Gkitzia, K. Salta and C. Tzougraki, Development and Application of Suitable Criteria for the Evaluation of Chemical Representations in School Textbooks, *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 12, 2011, pp. 5-14.

101. Β. Γκίτζια, *Ο ρόλος των αναπαραστάσεων στη μάθηση της χημείας και η χρήση τους στα σχολικά εγχειρίδια,* Διπλωματική Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Χημείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2006.

102. C.L. Habraken, Perceptions of Chemistry: Why is the Common Perception of Chemistry, the Most Visual of Sciences, so Distorted?, *Journal of Science Education and Technology*, vol. 5, 1996, pp. 193–201.

103. A.G. Harrison, How do Teachers and Textbook Writers Model Scientific Ideas for Students?, *Research in Science Education*, vol. 31, no. 3, 2001, pp. 401–435.

104. J.H. Mathewson, The visual core of science: definitions and applications to education, *International Journal of Science Education*, vol. 27, no. 5, 2005, pp. 529-548.

105. J. Han and W.M. Roth, Chemical inscriptions in Korean textbooks: semiotics of macro- and microworld, *Science Education*, vol. 90, no. 2, 2006, pp.173-201.

106. G. Tsaparlis, Learning at the Macro Level: The Role of Practical Work, i*n J.K. Gilbert and D. Treagust: Multiple Representations in Chemical Education*, Springer, 2009, pp. 109-136.

107. C. Furio-Mas, M.L. Calatayud, J. Guisasola and C. Furio-Gomez, How are the concepts and theories of acid-base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers, *International Journal of Science Education*, vol. 27, no. 11, 2005, pp. 1337-1358.

108. M.P. Pereira and M.E.M. Pestana, Pupils' representations of molecules of water, *International Journal of Science Education*, vol. 13, no. 3, 1991, pp. 313-319.

109. J.W. Creswell and V.L. Plano Clark, *Designing and conducting mixed methods research*, Sage Publications, 2011.

110. Ι. Παρασκευόπουλος, *Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας*, Αθήνα, 1993.

111. Κ. Μυλωνάς, *Θεωρητικές Έννοιες Μετρικής και Ψυχομετρίας*, (Πανεπιστημιακές σημειώσεις), ΕΚΠΑ, Αθήνα, 1999.

112. B.W. Tuckman, *Conducting Educational Research*, 5th ed., Harcourt Brace College Publisher, Orlando, 1999.

113. Δ. Αλεξόπουλος, Ψυχομετρία: *Σχεδιασμός τεστ και ανάλυση ερωτήσεων*, τόμος Α΄, Ελληνικά Γράμματα: Αθήνα, 1998.

114. S. Vosniadou, I. Skopeliti and K. Ikospentaki, Reconsidering the Role of Artifacts in Reasoning: Children's Understanding of the Globe as a Model of the Earth, *Learning and Instruction*, vol. 15, 2005, pp. 333-351.