



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**Κρίσιμες λεπτομέρειες, εννοιολογικά εμπόδια και διδακτικές
προσεγγίσεις στους χημικούς δεσμούς**

Ευάγγελος Πύργας

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

2022

ΙΩΑΝΝΙΝΑ

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Χημείας της Σχολής Θετικών
Επιστημών, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του
συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2»

Ορισμός Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής από τη Συνέλευση: 891^A/15-07-2014

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων:

Τσαπαρλής Γεώργιος, Καθηγητής Τμήματος Χημείας (νυν Ομότιμος Καθηγητής)

Μέλη:

Γαρούφης Αχιλλέας, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Χημείας (νυν Καθηγητής)

Πλακίτση Αικατερίνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών (νυν Καθηγήτρια)

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 19-12-2014

Θέμα: «Κρίσιμες λεπτομέρειες, εννοιολογικά εμπόδια και διδακτικές προσεγγίσεις στους χημικούς δεσμούς»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ από τη Συνέλευση:
1060/20-05-2022

- 1) **Γαρούφης Αχιλλέας**, Καθηγητής του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Τομέας Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας).
- 2) **Πλακίτση Αικατερίνη**, Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (γνωστικό αντικείμενο: Διδακτική των εννοιών των Φυσικών Επιστημών στο Νηπιαγωγείο).

- 3) **Παπαγεωργίου Γεώργιος**, Καθηγητής Χημείας με έμφαση στη Διδακτική της Χημείας και στην Οργανική Χημεία, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.
- 4) **Σιγάλας Μιχαήλ**, Καθηγητής Εφαρμοσμένης Κβαντικής Χημείας, Τμήμα Χημείας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. (Διευθυντής μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών ΠΜΣ «Μοριακός Σχεδιασμός και Μοντελοποίηση-Χημική Εκπαίδευση»).
- 5) **Μελισσάς Βασίλειος**, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Τομέας Φυσικοχημείας).
- 6) **Σταμοβλάσης Δημήτριος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Μεθοδολογίας Έρευνας και Εφαρμοσμένης Στατιστικής, Τμήμα Φιλοσοφίας και Παιδαγωγικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- 7) **Τάσης Δημήτριος**, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Τομέας Φυσικοχημείας).

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «άριστα» στις 04-07-2022

Η Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας

Λουλούδη Μαρία, Καθηγήτρια

Η Γραμματέας του Τμήματος

Ξανθή Τουτουνζόγλου

**Η διατριβή αυτή αφιερώνεται
στους γονείς μου και
στην οικογένειά μου**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΠΥΡΓΑΣ

Χημικός, ΜΔΕ στη Διδακτική της Χημείας

**(υπό την επίβλεψη του Γεωργίου Τσαπαρλή
ομότιμου καθηγητή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων)**

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ: Κρίσιμες λεπτομέρειες, εννοιολογικά εμπόδια και
διδακτικές προσεγγίσεις στους χημικούς δεσμούς**

Στη διατριβή αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται τα ευρήματα διαφόρων ερευνών που αφορούν τη διδασκαλία και μάθηση της έννοιας του χημικού δεσμού και σχετίζονται: (1) με διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2014-2015 σε επαρχιακό γενικό λύκειο, (2) με τις απαντήσεις μαθητών α' λυκείου και πρωτοετών προπτυχιακών φοιτητών σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις που σχετίζονται με το θέμα του χημικού δεσμού και (3) με τις απαντήσεις που έδωσαν προπτυχιακοί φοιτητές χημείας, στην εξεταστική του Ιουνίου το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017 στο πλαίσιο ενός μαθήματος επιλογής, σε μία ερώτηση σχετική με τις οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών.

(1) Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2014 – 2015 σε γενικό λύκειο μικρής επαρχιακής πόλης. Στην έρευνα συμμετείχαν 78 μαθητές τεσσάρων διαφορετικών τμημάτων της α' τάξης. Τα τμήματα χωρίστηκαν σε δύο τμήματα ελέγχου (όπου διδάχθηκε ο χημικός δεσμός χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών) και σε δύο τμήματα μεθοδολογίας (όπου πραγματοποιήθηκε η διδακτική παρέμβαση και ακολουθήθηκε για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών ένα «διδακτικό υλικό»). Σε όλα τα τμήματα για τη διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού αφιερώθηκαν σχεδόν οι ίδιες διδακτικές ώρες. Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας της ενότητας του χημικού δεσμού οι μαθητές έλαβαν μέρος σε μια γραπτή δοκιμασία (τεστ). Ακολούθησε

διόρθωση των τεστ και στη συνέχεια έγινε επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Γενικά οι επιδόσεις των μαθητών κυμάνθηκαν σε μέτρια επίπεδα και επίσης δεν φάνηκε να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των τμημάτων ελέγχου και των τμημάτων μεθοδολογίας. Σε ορισμένες όμως ερωτήσεις, στις οποίες αναμενόταν ότι η διδακτική παρέμβαση μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές στις απαντήσεις τους, παρατηρήθηκαν διαφορές. Πιο συγκεκριμένα στην ερώτηση τη σχετική με τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις η επίδοση των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας ήταν λίγο καλύτερη σε σχέση με τους μαθητές των τμημάτων ελέγχου. Στις ερωτήσεις όμως που σχετίζονται με την ηλεκτραρνητικότητα και την πολικότητα δεσμού οι επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας ήταν πολύ καλύτερες.

(2) Τη σχολική χρονιά 2012 -2013 πραγματοποιήθηκε έρευνα στο κεφάλαιο του χημικού δεσμού σε τρία επαρχιακά σχολεία (γενικά λύκεια) με μαθητές που φοιτούσαν στην Α' λυκείου. Τα τμήματα της Α' λυκείου, σε κάθε σχολείο που πραγματοποιήθηκε η έρευνα, χωρίστηκαν σε τμήματα ελέγχου και σε πειραματικά τμήματα. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των απαντήσεων που έδωσαν 66 μαθητές των τμημάτων ελέγχου σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις. Επίσης το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 το ίδιο τεστ δόθηκε και σε 73 πρωτοετείς φοιτητές δύο πανεπιστημιακών τμημάτων. Από τα αποτελέσματα των απαντήσεων, που έδωσαν οι μαθητές και οι φοιτητές στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις, προέκυψε ότι τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές θεώρησαν τον ομοιοπολικό δεσμό δυσκολότερο από τον ιοντικό. Κανένας δεσμός δεν είναι δύσκολος απάντησε το 12,1% των μαθητών, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τους φοιτητές ήταν 4,1%. Και οι δύο δεσμοί είναι εξίσου δύσκολοι απαντά το 4,5% των μαθητών και το 8,2% των φοιτητών. Οι λόγοι δυσκολίας που σχετίζονται με τον ομοιοπολικό δεσμό είναι περισσότεροι σε σχέση με τον ιοντικό τόσο στην περίπτωση των μαθητών όσο και στην περίπτωση των φοιτητών. Κατά τη μελέτη του κεφαλαίου του χημικού δεσμού, το 30,3% των μαθητών ανέφεραν δυσκολίες που σχετίζονται με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα, το 42,4% των μαθητών ανέφεραν γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας και μόνο το 3% των μαθητών αναφέρει δυσκολίες που αφορούν τη δομή του κεφαλαίου των χημικών δεσμών. Τα αντίστοιχα ποσοστά στις απαντήσεις των φοιτητών ήταν 43,8%, 19,2 % και 0%. Με βάση την ειδική ταξινόμηση σύμφωνα με τις τέσσερις κατηγορίες της μεταγνώσης του Flavell, οι περισσότερες απαντήσεις που δίνουν τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές ανήκουν

στην κατηγορία της μεταγνωστικής γνώσης και ακολουθεί η κατηγορία της μεταγνωστικής εμπειρίας, ενώ λίγες απαντήσεις ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες είτε έργα και στόχοι είτε στρατηγικές ή ενέργειες.

(3) Το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017, στην εξεταστική του Ιουνίου, στο πλαίσιο του μαθήματος επιλογής «Διδακτική Φυσικών Επιστημών», 15 πρωτοετείς φοιτητές χημείας απάντησαν σε μια ερώτηση σχετική με τις οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών. Ειδικότερα, για την αναπαράσταση αυτή χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας/χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού για χημικές δομές που προκύπτουν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς. Με βάση τις απαντήσεις των φοιτητών προέκυψε ότι οι συγκεκριμένες οπτικές αναπαραστάσεις (i) άφησαν γενικά θετικές εντυπώσεις στους φοιτητές σε σχέση με: ορισμένα χαρακτηριστικά, π.χ. το μέγεθος των ατόμων στα μόρια και η πολικότητα/πόλωση δεσμού, (ii) προσέλκυσαν το ενδιαφέρον τους και (iii) τους βοήθησαν να απομνημονεύσουν κάποια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τους χημικούς δεσμούς. Τέλος οι φοιτητές χαρακτήρισαν τις συγκεκριμένες οπτικές αναπαραστάσεις ως ένα χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο και ότι είναι καλύτερες σε σχέση με άλλες οπτικές αναπαραστάσεις που είχαν συναντήσει.

ABSTRACT OF DOCTORAL THESIS

EVANGELOS PYRGAS

Chemist, Postgraduate Diploma in didactics of chemistry

(under the supervision of Georgios Tsaparlis

Professor Emeritus of the University of Ioannina)

TITLE OF THESIS: Critical details, conceptual barriers and teaching approaches to chemical bonding

This thesis presents and analyzes the findings of various researches related to: (1) a teaching intervention that took place in the school year 2014-2015 in a provincial general high school; (2) the answers of high school students and first-year undergraduate students to two metacognitive questions related to the topic of chemical bonding; and (3) the answers given by undergraduate chemistry students, in the June exam of the academic year 2016-2017, at an elective course, to a question related to the visual representations of chemical structures..

(1) The didactic intervention took place in the school year 2014 - 2015 in a general high school of a small provincial town. The research involved 78 students from four different classes of the tenth grade. The classes were divided into two control classes (where chemical bonding was taught using the textbook according to the Greek curriculum) and two experimental classes (where the teaching intervention took place and a "teaching material" was used for the teaching of chemical bonding). Almost the same teaching hours were devoted for the teaching of chemical bonding unit in all classes. After completing the teaching of the chemical bonding unit, the students took part in a written test. The students' scripts were marked and then the results were analyzed. In general, the students' performance was moderate, while no statistical significant differences were detected between the control and the experimental classes. However, in the case of some questions, where the teaching intervention was expected that it could help the students in their answers, differences were observed.

More specifically, in a question related to electrostatic interactions, the performance of the students of the experimental classes was a little better than that of the students of the control classes. However, in the questions related to electronegativity and bond polarity, the performance of the students of the experimental classes was much better.

(2) In the school year 2012 -2013, a research study was carried out on the chapter on chemical bonding in three provincial schools (general high schools), with students of tenth grade. In each school where the study was carried out, the tenth grade classes, were divided into control classes and experimental classes. The answers to two metacognitive questions given by 66 students of the control classess were then analyzed. The same test was also given in the academic year 2012-2013 to 73 first-year students of two university departments. From the answers given to the two metacognitive questions, it emerged that both the pupils and the students considered covalent bonding more difficult than ionic bonding. That neither bonding is difficult was assumed by 12.1% of pupils, while the corresponding percentage for students was 4.1%. That both types of bonding are equally difficult was assumed by 4.5% of pupils and 8.2% of students. The reasons for the difficulty associated with covalent bonding were more numerous than in the case of ionic bonding for both the pupils and the students. In the study of the chemical bonding chapter, 30.3% of the pupils reported difficulties related to specific concepts and topics, 42.4% of the pupils made general remarks about the difficulties or lack of difficulty and only 3% of the pupils reported difficulties regarding the chapter on the structure of chemical bonds. The corresponding percentages in the students' answers were 43.8%, 19.2% and 0%. Based on the specific classification according to the four Flavell's metacognition categories, most of the answers given by both the pupils and the students belonged to the *metacognitive knowledge* Flavell category, followed by *metacognitive experience* category, while a few answers were classified into either the *tasks and goals* or the *strategies or actions* category.

(3) In the June exam of the academic year 2016-2017, as part of the elective course "Science Education", 15 first-year chemistry students answered a question related to the visual representations of chemical structures. In particular, equal electron density surfaces/electrostatic potential maps for chemical structures resulting from accurate quantum mechanical calculations were used for this representation. Based on the students' answers, it emerged that the visual representations: (i) generally left positive

impressions on the students in relation to certain characteristic, e.g., the atoms' size in molecules, and polarity/bond polarization; (ii) attracted their interest; and (iii) helped them to memorize some characteristics related to chemical bonds. Finally, the students described the specific visual representations as a useful pedagogical tool and that they are better than other visual representations they had encountered before.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πρώτη μου γνωριμία με τον κ. Τσαπαρλή ξεκινά από το φθινόπωρο του 1996, όπου στο πλαίσιο του μαθήματος «Στοιχειώδης Φυσικοχημεία», ως προπτυχιακού τότε φοιτητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, μου ανατέθηκε η πραγματοποίηση μιας εργασίας. Η ενασχόλησή μου με την εκπαίδευση και το επιστημονικό μου ενδιαφέρον για τη Διδακτική της Χημείας με οδήγησαν το φθινόπωρο του 2003 σε μια γόνιμη περίοδο στη ζωή μου, μια περίοδο μαθητείας και συνεργασίας με τον κ. Τσαπαρλή, πρώτος καρπός της οποίας υπήρξε η εκπόνηση μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης κατά το χρονικό διάστημα 2003-2006. Η περίοδος αυτή συνεχίστηκε μέχρι σήμερα με την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, που πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, στο χρονικό διάστημα 2014-2021.¹

Με την ολοκλήρωση της όλης προσπάθειας και τη συγγραφή της διατριβής αυτής, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Τσαπαρλή, ομότιμο καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, την διαρκή υποστήριξη, την εποικοδομητική συνεργασία, τον κριτικό διάλογο, τον πολύτιμο χρόνο του που επανειλημμένως μου αφιέρωσε και την συνεχή καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Ευχαριστώ επίσης και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον κ. Αχιλλέα Γαρούφη, Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και την κ. Αικατερίνη Πλακίτση, Καθηγήτρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, καθώς και τα υπόλοιπα πέντε μέλη της 7μελούς εξεταστικής επιτροπής για το χρόνο που αφιέρωσαν και για τις εύστοχες και χρήσιμες παρατηρήσεις και συμβουλές τους.

¹ Ορισμός Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: Απόφαση της Γενικής Συνέλευσης 891^A/ 15 - 07 - 2014 του Τμήματος Χημείας. Ορισμός Θέματος Διδακτορικής Διατριβής από τη Συνέλευση: 899/19-12-2014. Παροχή Άδειας Συγγραφής Διδακτορικής Διατριβής: 06/09/2021.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την Δρα. Ελένη Θ. Παππά για την πολύτιμη βοήθειά της, τόσο με τη διεξαγωγή της έρευνας όσο και με τη συλλογή του ερευνητικού υλικού που πραγματοποιήσε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου καθηγητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για τη διεξαγωγή της έρευνας στα σχολεία τους και όλους ανεξαιρέτως τους μαθητές και προπτυχιακούς φοιτητές που συμμετείχαν στις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους γονείς μου, για την αμέριστη συμπαράστασή και στήριξή τους.

Ιωάννινα, Απρίλιος 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	i
ABSTRACT OF DOCTORAL THESIS.....	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....3

1.1. Χημεία: Η επιστήμη των χημικών ουσιών και των μετασχηματισμών τους μέσω των χημικών αντιδράσεων.....	3
1.2. Η έννοια του χημικού δεσμού.....	4
1.3. Η ιστορία του χημικού δεσμού.....	5
1.4. Η διδακτική των φυσικών επιστημών και η διδακτική της χημείας.....	7
1.5. Ο Εποικοδομισμός: θεωρία και πράξη της σύγχρονης διδακτικής των φυσικών επιστημών	9
1.5.1. Οι έννοιες του Ρεαλισμού και του Εμπειρισμού.....	9
1.5.2. Οι διδακτικές μεθοδολογίες	9
1.5.3. Οι παραλλαγές του εποικοδομισμού.....	10
1.5.4. Συνέπειες για την εκπαίδευση.....	11
1.5.5. Οι έννοιες των φυσικών επιστημών σύμφωνα με τη θεωρία του Vygotsky.....	12
1.5.6. Σύγκριση Piaget και Vygotsky.....	12
1.5.7. Στοιχεία της θεωρίας του Vygotsky για την ανάπτυξη των επιστημονικών εννοιών.....	13
1.5.8. Εποικοδομισμός και χημεία.....	13
1.6. Εναλλακτικές ιδέες και παρανοήσεις των μαθητών για τις έννοιες των φυσικών επιστημών.....	15
1.6.1. Ο ορισμός της παρανόησης.....	15
1.6.2. Οι κατηγορίες των παρανοήσεων.....	15
1.7. Ο χημικός δεσμός στη χημική εκπαίδευση.....	17
1.7.1. Η αξιολόγηση ερωτήσεων σε διεθνή βιβλία γενικής χημείας.....	18
1.7.1.1. Παραδείγματα ερωτήσεων για το χημικό δεσμό.....	19
1.7.1.2. Ανάλυση σχέσης ερώτησης-απάντησης (QAR).....	20
1.7.1.3. Παραδείγματα κειμενοκεντρικών ερωτήσεων.....	20
1.7.1.4. Παραδείγματα γνωσιοκεντρικών ερωτήσεων.....	21
1.7.1.5. Υποδείξεις.....	22
1.8. Ο χημικός δεσμός στην ελληνική δευτεροβάθμια χημική εκπαίδευση.....	22
1.8.1. Ο χημικός δεσμός στο γυμνάσιο.....	22
1.8.2. Ο χημικός δεσμός στο λύκειο.....	25
1.9. Η παρούσα εργασία.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ: ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ.....33

2.1. Εισαγωγή.....	33
2.2. Κατηγορίες δυσκολιών και παρανοήσεων στους χημικούς δεσμούς.....	35
2.2.1. Γενικές δυσκολίες και παρανοήσεις.....	36
2.2.2. Ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις.....	38
2.2.3. Γενικές - ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις.....	47
2.3. Ανασκόπηση προτάσεων για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού.....	49
2.3.1. Μελέτες σχετικές με την κατανόηση των μαθητών.....	50
2.3.2. Νέες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού.....	54
2.3.3. Μελέτες που σχετίζονται με συγκεκριμένες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΕΥΝΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΜΕ ΜΑΘΗΤΕΣ Α΄ ΛΥΚΕΙΟΥ.....63

3.1. Η παρούσα έρευνα.....	63
3.2. Το διδακτικό υλικό.....	64
3.3. Η «ιστορία» του διδακτικού υλικού.....	66
3.4. Κατανομή χρόνου για την διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού.....	71
3.5. Το είδος των ερωτήσεων.....	72
3.6. Το ερευνητικό μέσο.....	72
3.7. Το βαθμολογικό σχήμα.....	73
3.8. Η συνέντευξη.....	76
3.9. Θέματα ηθικής δεοντολογίας.....	76
3.10. Το δείγμα των μαθητών.....	77
3.11. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	78

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΘΜΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ Ή ΙΣΟ ΤΟΥ 10.....79

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΘΜΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ Ή ΙΣΟ ΤΟΥ 7.....81

ΜΕΡΟΣ Γ: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....85

3.12. Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών που έλαβαν υψηλή βαθμολογία στην ερώτηση 2Α.....	91
3.12.1. Συζήτηση των απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 2Α.....	93
3.13. Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1Β.....	96
3.13.1 Συζήτηση των απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1Β.....	96
3.14. Συμπεράσματα από την επίδοση των μαθητών στις ερωτήσεις 6Α και 6Β.....	101
3.15. Οι παρανοήσεις των μαθητών στον ιοντικό δεσμό.....	102
3.16. Η ομάδα των ερωτήσεων 3Α, 4Α, 3Β και 4Β.....	104
3.16.1. Οι ερωτήσεις 4Α και 4Β.....	106
3.17. Οι απαντήσεις των μαθητών που έλαβαν υψηλή βαθμολογία στις ερωτήσεις 4Α & 4Β.....	108

3.18. Η ερώτηση 3Α.....	109
3.19. Η ερώτηση 3Β.....	110
3.19.1 Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3Β.....	112
3.20. Η συνέντευξη στους μαθητές.....	113
3.20.1. Συμπεράσματα από τη συνέντευξη.....	117
3.21. Γραπτές προαγωγικές εξετάσεις - Περίοδος: Μαΐου - Ιουνίου.....	117
3.21.1. Συμπεράσματα από τη συνολική επίδοση των μαθητών στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις...122	
3.21.2. Οι μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στο τεστ και οι επιδόσεις στους στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.....	124
3.21.3. Οι μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.....	125
ΜΕΡΟΣ Δ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ SPEARMAN & PEARSON.....	126
Δ.1) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα μεθοδολογίας (Α2 & Α4).....	127
Δ.2) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα ελέγχου (Α1 & Α3).....	130
Δ.3) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα μεθοδολογίας και ελέγχου (Α1, Α2, Α3 και Α4).....	133
Παράρτημα 3.1.....	135
Παράρτημα 3.2.....	140
Παράρτημα 3.3.....	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ.

.....	146
4.1. Τι είναι η Διδακτική Μεταφορά / Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου;.....	146
4.2. Η διαδικασία της διδακτικής μεταφοράς.....	147
4.3. Εξωτερική και εσωτερική διδακτική μεταφορά / διδακτικός μετασχηματισμός.....	148
4.4. Προτεινόμενες παιδαγωγικές για χημικούς δεσμούς.....	149
4.5. Θέματα σχετικά με την έρευνα στο χημικό δεσμό.....	151
4.5.1. Peter Atkins: <i>Physical chemistry, a very short introduction. Oxford University Press, 2014</i>	151
4.5.1.1. Άτομα.....	151
4.5.1.2. Ηλεκτρονιακή δομή ατόμων.....	151
4.5.1.3. Οι ιδιότητες των ατόμων.....	152
4.5.1.4. Ο ιοντικός δεσμός.....	153
4.5.1.5. Ο ομοιοπολικός δεσμός.....	153
4.5.1.6. Η κβαντομηχανική των δεσμών.....	154
4.5.2. <i>Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia).</i> L.J. Lagowski (Ed.), MacMillan.....	156
4.5.2.1. Ατομική Δομή.....	156
4.5.2.2. Δεσμοί.....	157
4.5.2.3. Δομές Lewis.....	161

4.5.2.4. Θεωρία Μοριακών Τροχιακών.....	161
4.5.2.5. Μοριακή Δομή.....	162
4.5.2.6. Μόρια.....	163
4.5.2.7. Θεωρία Δεσμού Σθένους.....	164
4.6. Συγκριτική ανάλυση Atkins και Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας.....	165
4.7. Παρουσίαση βιβλίων και συγκριτική ανάλυση.....	172
4.7.1. Παρουσίαση βιβλίων.....	172
4.7.2. Συγκριτική ανάλυση/αντιπαραβολή των παραπάνω βιβλίων.....	179

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....185

5.1. Εισαγωγή.....	185
5.2. Η έρευνα.....	186
5.3. Οι απαντήσεις μαθητών σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις.....	187
5.3.1. Θέματα Ηθικής Δεοντολογίας.....	188
5.3.2. Μέθοδος ανάλυσης.....	188
5.4. Τα αποτελέσματα των μεταγνωστικών ερωτήσεων και των απόψεων των μαθητών σχετικά με το χημικό δεσμό.....	189
5.5. Συζήτηση των σχολίων / απαντήσεων των μαθητών.....	194
5.6. Οι απαντήσεις των φοιτητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις.....	196
5.6.1. Θέματα Ηθικής Δεοντολογίας.....	196
5.6.2. Μέθοδος ανάλυσης.....	196
5.7. Αποτελέσματα των μεταγνωστικών ερωτήσεων και των απόψεων των φοιτητών σχετικά με το χημικό δεσμό.....	197
5.8. Συζήτηση των σχολίων / απαντήσεων των φοιτητών.....	203
5.9. Σύγκριση πρωτοετών φοιτητών με τους μαθητές Α΄ λυκείου.....	205

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ.....206

6.1. Εισαγωγή.....	206
6.2. Η σημασία των στατικών οπτικών αναπαραστάσεων των χημικών δομών που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς.....	207
6.3. Η έρευνα των Tsapalis et al. (2021) η σχετική με τις Οπτικές Αναπαραστάσεις.....	208
6.3.1. Το δείγμα των φοιτητών.....	208
6.3.2. Τα ερευνητικά ερωτήματα.....	209
6.3.3. Το ερευνητικό μέσο.....	210
6.3.4. Περιγραφική στατιστική.....	212
6.3.5. Η ερώτηση Δ.1.....	212
6.3.6. Η ερώτηση Δ.2.....	215
6.3.7. Η ερώτηση Δ.3.....	215
6.3.8. Η ερώτηση Δ.4.....	216
6.3.9. Συμπεράσματα της έρευνας των Tsapalis et al. (2021).....	216

6.4. Η έρευνά μας για τις Οπτικές Αναπαραστάσεις.....	218
6.4.1. Θέματα ηθικής δεοντολογίας.....	219
6.4.2. Μέθοδος ανάλυσης.....	219
6.4.3. Το βαθμολογικό σχήμα.....	220
6.4.4. Τα ευρήματα.....	220
6.4.5. Συζήτηση σχετικά με τις απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση με τις οπτικές αναπαραστάσεις.....	224
Παράρτημα 6.1.....	226
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	229
7.1. Οι εναλλακτικές ιδέες / παρανοήσεις στους χημικούς δεσμούς.....	229
7.2. Η διδακτική παρέμβαση.....	230
7.3. Η διδακτική μεταφορά στη διδασκαλία του χημικού δεσμού.....	231
7.4. Οι μεταγνωστικές ερωτήσεις.....	233
7.4.1. Οι απαντήσεις των μαθητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις.....	233
7.4.2. Οι απαντήσεις των φοιτητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις.....	234
7.5. Οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών.....	235
7.6. Διδακτικές προτάσεις.....	236
7.6.1. Διδακτικές προτάσεις με βάση τη διδακτική παρέμβαση.....	236
7.6.2. Διδακτική πρόταση με βάση την προσέγγιση καταστάσεων της ύλης (SOMA).....	237
7.6.3. Διδακτικές προτάσεις με βάση τη σπειροειδή διδασκαλία του Bruner.....	238
7.6.4 Άλλες διδακτικές προτάσεις.....	242
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	243
A. Ελληνική βιβλιογραφία.....	243
B. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	246
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	261
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	279
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	299

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χημικός δεσμός αποτελεί ένα πολύ δύσκολο θέμα τόσο για τους μαθητές όσο και για τους εκπαιδευτικούς που καλούνται να το διδάξουν. Βιβλιογραφικές μελέτες και έρευνες σχετικές με την κατανόηση και τη διδασκαλία του χημικού δεσμού έχουν αναδείξει έναν μεγάλο αριθμό παρανοήσεων/ εναλλακτικών αντιλήψεων και δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές τόσο στο χημικό δεσμό, όσο και σε έννοιες που σχετίζονται με αυτόν. Η σύγχυση μεταξύ των διαφόρων τύπων δεσμού, η δυσκολία κατανόησης τόσο της φύσης του ίδιου του δεσμού όσο και του τρόπου σχηματισμού του, η χρήση λανθασμένων και απλοϊκών μοντέλων, που συνδέονται με το χημικό δεσμό, και που συχνά χρησιμοποιούν οι μαθητές ακόμη μέχρι και τα πρώτα έτη των πανεπιστημιακών τους σπουδών, αποτελούν μόνο μερικά παραδείγματα δυσκολιών και παρανοήσεων των μαθητών. Οι δυσκολίες και οι παρανοήσεις μπορεί να συνδέονται τόσο με την αφηρημένη έννοια του χημικού δεσμού όσο και με τον υπεραπλουστευμένο τρόπο διδασκαλίας του, που δεν είναι σύμφωνος με τα επιστημονικά δεδομένα.

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2014 – 2015 σε δημόσιο λύκειο μικρής επαρχιακής πόλης με μαθητές α' λυκείου. Τα τμήματα της α' λυκείου χωρίστηκαν σε τμήματα ελέγχου και τμήματα μεθοδολογίας. Μετά το τέλος της διδασκαλίας του κεφαλαίου του χημικού δεσμού, στους μαθητές δόθηκε ένα τεστ (γραφτή δοκιμασία). Με βάση τις επιδόσεις των μαθητών στο τεστ μελετάται η επίδραση που μπορεί να έχει η διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε, στην κατανόηση από τους μαθητές τόσο του χημικού δεσμού όσο και των εννοιών που σχετίζονται με αυτόν.

Επίσης παρουσιάζονται οι απαντήσεις που έδωσαν μαθητές α' λυκείου τριών δημοσίων σχολείων αλλά και πρωτοετείς φοιτητές δύο πανεπιστημιακών τμημάτων σε 2 μεταγνωστικές ερωτήσεις που σχετίζονται με τους χημικούς δεσμούς. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2012 – 2013.

Τέλος εξετάζονται οι απαντήσεις που έδωσαν οι πρωτοετείς φοιτητές ενός πανεπιστημιακού τμήματος σε ερώτηση σχετική με τις οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) χημικών δομών. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2016 – 2017 και οι

φοιτητές απάντησαν στην ερώτηση ως μέρος της τελικής τους εξέτασης σε ένα μάθημα επιλογής για το εαρινό εξάμηνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

1.1. Χημεία: Η επιστήμη των χημικών ουσιών και των μετασχηματισμών τους μέσω των χημικών αντιδράσεων

Είναι γνωστή η σημασία της χημείας ως επιστήμης και ως μαθήματος στη γενική εκπαίδευση. Η χημεία ανήκει στις φυσικές επιστήμες (φυσική, χημεία, βιολογία, γεωλογία) και κατέχει κεντρική θέση (the central science) ανάμεσά τους. Η φυσικοχημεία συνδέει τη χημεία με τη φυσική, ενώ μέσω της βιοχημείας και της μοριακής βιολογίας, η χημεία διεισδύει και υποστηρίζει τη βιολογία. Η πυρηνική χημεία και η ραδιοχημεία συνδέουν περαιτέρω τη χημεία με τη φυσική, ενώ η αστροχημεία ανεβάζει τη χημεία στο επίπεδο της αστρονομίας και της κοσμολογίας. Η γεωχημεία και η κρυσταλλοχημεία γεφυρώνουν τη χημεία με τη γεωλογία. Ακόμη, η χημεία εφαρμόζεται και σε μεγάλο αριθμό άλλων επιστημών και τεχνών, όπως η ιατρική, η φαρμακευτική, η επιστήμη των τροφίμων, η κοσμετολογία κι η αρχαιολογία.

Η Χημεία είναι ένας επιστημονικός κλάδος που μας παρέχει μια θεωρητική εξήγηση για το πώς λειτουργεί η φύση. Με τη βοήθεια και άλλων κλάδων, έχει αλλάξει τον τρόπο ζωής μας. Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε τη βελτίωση της ποιότητας και τη διαθεσιμότητα νέων φαρμάκων και εμβολίων, νέων υλικών, ασφαλών και υγιεινών τροφίμων, πιο αποτελεσματικούς και φιλικούς προς το περιβάλλον μετασχηματισμούς ενέργειας, και τη συμβολή στην αειφορία του πλανήτη μας (Tsaparlis, 2021).

Η συμβολή της χημείας (μαζί με πολλούς άλλους κλάδους) είναι πολύ σημαντική στην αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την τρέχουσα πανδημία COVID-19. Οι τομείς στους οποίους μπορεί να συνεισφέρει η επιστήμη της χημείας είναι στον προσδιορισμό της δομής του ιού που προκαλεί τη νόσο, στην ανάπτυξη κατάλληλων τεστ για την ανίχνευση και παρακολούθηση των θετικών κρουσμάτων, στη σύνθεση κατάλληλων φαρμάκων για την πρόληψη και την καταπολέμηση των σοβαρών συνεπειών της και κυρίως στην παρασκευή ασφαλών και

αποτελεσματικών εμβολίων, που είναι ο απόλυτος τρόπος ελέγχου και τερματισμού της πανδημίας.

Δυστυχώς, από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και οι αρνητικές συνέπειες που προκάλεσε η εξέλιξη της επιστήμης της χημείας. Αυτές οι συνέπειες συσχετίζονται με σοβαρά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και πολιτικά προβλήματα. Ωστόσο, όλοι ευελπιστούμε ότι η επιστήμη της χημείας μέσα από τη διαρκή της πρόοδο και εξέλιξη θα μπορέσει να βρει τις κατάλληλες λύσεις για όλα αυτά τα προβλήματα (Tsaparlis, 2021).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι η χημεία είναι η επιστήμη των χημικών ουσιών και των μετασχηματισμών τους μέσω των χημικών αντιδράσεων. Χρησιμοποιώντας ποικιλία μεθόδων (όπως διαλυτοποίηση, απόσταξη, τήξη και χρωματογραφία) είναι σε θέση να απομονώνει και να καθαρίζει χημικές ουσίες που περιέχονται σε φυσικά προϊόντα (όπως βιταμίνες, χρωστικές ουσίες και φαρμακευτικές ουσίες), ενώ μέσω της σύνθεσης (μέσω χημικών αντιδράσεων) συνθέτει είτε γνωστές από τη φύση ουσίες (π.χ. βιταμίνη C) ή εντελώς νέες ουσίες (όπως φάρμακα, πολυμερή και νανοϋλικά).

1.2. Η έννοια του χημικού δεσμού

Ο χημικός δεσμός είναι μια από τις περισσότερο θεμελιώδεις έννοιες στη χημεία (Atkins, 1999, 2010; Holme and Murphy, 2012; Holme et al., 2015; Taber & Coll, 2003), και επομένως η διεξοδική κατανόησή του είναι απαραίτητη για την κατανόηση σχεδόν κάθε άλλου θέματος στη χημεία όπως: οι ενώσεις του άνθρακα, οι πρωτεΐνες, τα πολυμερή, τα οξέα και οι βάσεις, η χημική ενέργεια και η θερμοδυναμική (Fensham, 1975; Gillespie, 1997; Hurst, 2002). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο χημικός δεσμός θεωρείται από τους εκπαιδευτικούς, τους μαθητές και τους χημικούς ως μια θεμελιώδης αλλά πολύ περίπλοκη έννοια που έχει παραδοσιακά συνδεθεί με μαθησιακές δυσκολίες και παρανοήσεις (Gabel, 1996; Robinson, 2003; Taber, 1998, 2001; Tsaparlis, 1997; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2018). Οι έννοιες που σχετίζονται με το χημικό δεσμό και τη χημική δομή, όπως οι ομοιοπολικοί δεσμοί, τα μόρια, τα ιόντα, τα γιγαντιαία κρυσταλλικά πλέγματα και οι δεσμοί υδρογόνου είναι αφηρημένες έννοιες. Για να κατανοήσουν οι μαθητές αυτές τις έννοιες πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με μαθηματικές και φυσικές έννοιες που σχετίζονται με την έννοια του

χημικού δεσμού, όπως τα τροχιακά, η ηλεκτροαρνητικότητα και η πολικότητα δεσμού (Levy Nahum, et al., 2007).

Σύμφωνα με τους Tsaparlis, Pappa και Byers (2019):

1. Ο χημικός δεσμός διδάσκεται τόσο στη δευτεροβάθμια (κυρίως στις μεγαλύτερες τάξεις) όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, οπότε υπάρχει αλληλοεπικάλυψη εννοιών, εκπαιδευτικών εργαλείων και προσεγγίσεων μεταξύ της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και του πρώτου έτους προπτυχιακών σπουδών.
2. Η κατανόηση του χημικού δεσμού είναι μια διαρκής συνέχεια της πολυπλοκότητας που αναπτύσσεται τόσο στη δευτεροβάθμια όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

1.3. Η ιστορία του χημικού δεσμού

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε συνοπτικά τα σημαντικότερα στάδια της εξέλιξης της έννοιας του χημικού δεσμού:

- Το 1858 μπορεί να θεωρηθεί ως χρονολογία ενάρξεως αυτού που σήμερα ονομάζουμε «μοριακή δομή». Τη χρονιά αυτή, και με διαφορά μηνών, διαβάζονται δύο ανεξάρτητες εργασίες στη Γαλλική Ακαδημία Επιστημών: η μία του Σκωτσέζου Archibald Scott Couper (1831-1892) και η άλλη του Γερμανού Friedrich August (von Stradonitz) Kekulé (1829-1896).
- Ο Couper είναι ο πρώτος ο οποίος πρότεινε το σχηματισμό οντοτήτων που μπορούν και υπάρχουν από μόνες τους, αυτό που σήμερα αποκαλούμε μόρια. Εισήγαγε την έννοια του σθένους, την ικανότητα δηλαδή την οποία έχουν τα άτομα να ενώνονται μεταξύ τους. Ήταν ο πρώτος ο οποίος έγραψε χημικούς τύπους μορίων λίγο πολύ με τον τρόπο που και σήμερα γράφονται. Ο Kekulé πρότεινε και αυτός παρόμοιες απόψεις αλλά όχι με τη σαφήνεια του Couper.
- Ο άνθρωπος ο οποίος εισήγαγε την λέξη *δομή* στην οργανική χημεία είναι ο Ρώσος Alexander Mikhailovich Butlerov (1828-1886), ο οποίος ήταν μαθητής του Kekulé.
- Ο Kekulé ήταν αυτός ο οποίος το 1865 είχε γράψει τον περίφημο πλέον συντακτικό τύπο του βενζολίου, C_6H_6 . Η αρχική γραφή την οποία πρότεινε ο Kekulé για το βενζόλιο, εξακολουθεί να είναι η ίδια και σήμερα.

- Αρκετά χρόνια πριν, το 1848, ο Louis Pasteur (1822-1895) είχε «ανοίξει» το δρόμο για την τρισδιάστατη απεικόνιση των χημικών ενώσεων, με τις έρευνες του για το τρυγικό οξύ. Δυστυχώς όμως το 1848 η έννοια της δομής, ως αποτέλεσμα της έννοιας του χημικού δεσμού, ήταν ανύπαρκτη.
- Το 1866 παρατηρείται ότι ο αριθμός των μορίων που προκύπτουν πειραματικά είναι μεγαλύτερος από των αριθμό των μορίων που προκύπτουν από τη σύνδεση των ατόμων στο επίπεδο.
- Το 1875 ο Joseph Achille Le Bell (1849-1930) και ο Jacobus Hendricus van't Hoff (1852-1911), ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον, προτείνουν τον τρισδιάστατο χαρακτήρα του ατόμου του άνθρακα. Οι απόψεις τους όμως δέχθηκαν ισχυρή κριτική και σχεδόν απορρίφθηκαν από πολλούς επιστήμονες (την εποχή εκείνη κανένας δεν γνώριζε τι σημαίνει άτομο και ακόμη περισσότερο τι σημαίνει χημικός δεσμός).
- Κάτι άρχισε να φαίνεται ότι αλλάζει το 1897 όταν ο Βρετανός Joseph John Thomson (1856-1940) ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο και προσδιόρισε το λόγο του φορτίου προς τη μάζα του, e/m . Οι χημικοί όμως θεωρούσαν ότι τέτοιου είδους εξελίξεις αφορούσαν τους «φυσικούς».
- Το 1911 ο Ernest Rutherford με πειράματα σκεδάσεως άρχισε να ξεκαθαρίζει τη δομή του ατόμου και εισηγήθηκε το γνωστό πλανητικό μοντέλο. Τα πειραματικά ευρήματα του Rutherford ενισχύθηκαν το 1913 με τις θεωρητικές απόψεις του Δανού Niels Bohr (1885-1962). Το 1916 ο Αμερικανός Χημικός Gilbert N. Lewis (1875-1946) πρότεινε την πρώτη ηλεκτρονιακή ερμηνεία του χημικού δεσμού.
- Ο Lewis πρότεινε την θεωρία του οκτώ, των οξέων-βάσεων κ.τ.λ., όλα στηριζόμενα στο ηλεκτρονιακό ζεύγος. Οι απόψεις του Lewis βρήκαν μεγάλη ανταπόκριση στον επιστημονικό κόσμο της εποχής.
- Το 1925-26 αρχίζει η προσπάθεια εξηγήσεως και κατανοήσεως των χημικών και φυσικών φαινομένων με τη βοήθεια της κβαντομηχανικής. Το 1927, ένα έτος μετά την δημοσίευση της εξίσωσης Schrödinger, οι Heitler και London, έλυσαν (κατά προσέγγιση) την εξίσωση Schrödinger για το μόριο του υδρογόνου, H_2 , με αυτό τον τρόπο έθεσαν τα θεμέλια της κατανόησης του χημικού δεσμού. Από τότε έχουν περάσει πολλά χρόνια και η πρόοδος στη Χημεία και Φυσική είναι πολύ μεγάλη. Παρόλα αυτά η έννοια του χημικού δεσμού συνεχίζει να δυσκολεύει πολλούς επιστήμονες ακόμη και σήμερα. Το παιχνίδι του χημικού

δεσμού συνεχίζεται σήμερα εντονότερα παρά ποτέ, με την σύνθεση τρομακτικής ποικιλίας ενώσεων και υλικών.

(Μαυρίδης, 1994)

1.4. Η διδακτική των φυσικών επιστημών και η διδακτική της χημείας ²

Η χημική εκπαίδευση μπορούμε να πούμε ότι καθιερώθηκε ως πεδίο έρευνας σχετικά πρόσφατα, παρόλο που ως δραστηριότητα υπήρχε όσο υπήρχε η χημεία (Taber, 2015). Οι απαρχές της χρονολογούνται μόλις στη δεκαετία του 1970, με τους Αμερικανούς J. Dudley Herron και Dorothy L. Gabel και τον Βρετανό Alex H. Johnstone να θεωρούνται ως εμπνευστές της. Ο Herron (1975, 1978) εφάρμοσε στη διδασκαλία της χημείας τη γνωσιακή επιστήμη (cognitive science), ειδικά τη θεωρία του Piaget για τη νοητική ανάπτυξη. Για τον Gabel (1999), καθώς ο πληθυσμός γίνεται πιο ετερογενής και οι ερευνητές μαθαίνουν περισσότερα για το πώς οι μαθητές διαφορετικών υποβάθρων, στυλ μάθησης και ικανοτήτων αποκτούν γνώσεις, ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένο το περιεχόμενο της χημείας θα γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός. Τέλος, σύμφωνα με τον Johnstone (2000), εάν θέλουμε να ενθουσιάσουμε τους μικρούς μαθητές με το μάθημά μας, τότε είναι απαραίτητη η εναρμόνιση μιας λογικής προσέγγισης της χημείας με μια ψυχολογική προσέγγιση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εκπαιδευτικής έρευνας.

Η διδακτική της χημείας σχετίζεται στενά με τη χημεία, αλλά ως ερευνητικό πεδίο ανήκει στις κοινωνικές επιστήμες, μελετώντας μεταβλητές που σχετίζονται με το περιεχόμενο της χημείας ή με το τι κάνει ο δάσκαλος ή ο μαθητής σε ένα μαθησιακό περιβάλλον (Herron & Nurrenburn, 1999). Ως εκ τούτου, περιλαμβάνει μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των διαδικασιών μάθησης και του περιεχομένου, με στόχο την κατανόηση και τη βελτίωση του τρόπου μάθησης χημείας. Το πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης (το μαθησιακό περιβάλλον) παίζει καθοριστικό και συχνά ανασταλτικό παράγοντα για την εγκυρότητα και την εφαρμογή των ερευνητικών αποτελεσμάτων στους μαθητές των σχολείων.

² Το εδάφιο αυτό βασίζεται σε κεφάλαιο που έγραψε για βιβλίο της ACS ο καθ. Γ. Τσαπαρλής (Tsaparlis, 2018). Challenges, Barriers, and Achievements in Chemistry Education: The Case of Greece. In C. Cox and W. E. Schatzberg (eds.), *International Perspectives on Chemistry Education Research and Practice*, Ch. 7, pp. 93-110. Washington, DC, American Chemical Society.

Μια έκθεση της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας, το 1994, όρισε τα στοιχεία της έρευνας στη διδακτική της χημείας: έρευνα στη διδασκαλία (δηλαδή, αριστεία στη διδασκαλία), έρευνα στην ανακάλυψη, έρευνα στην εφαρμογή. Χαρακτηριστικά της έρευνας ήταν ότι: (α) βασίστηκε στη θεωρία, (β) βασίστηκε σε δεδομένα και (γ) παρήγαγε γενικεύσιμα και εφαρμόσιμα αποτελέσματα (Bunce, Gabel, Herron, & Jones, 1994). Το «Τμήμα της Διδακτικής της Χημείας» της «Ένωσης Ευρωπαϊκών Χημικών και Μοριακών Επιστημών» (EuCheMS) (πρώην «Ομοσπονδία Ευρωπαϊκών Χημικών Εταιρειών», FECS) δημοσίευσε, το 1999, επίσης μια θέση για την εμπειρική έρευνα στη διδακτική της χημείας (De Jong, Schmidt – Burger & Eybe, 1999). Δύο βιβλία της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας (ACS), στη σειρά συμποσίων της ACS, ασχολήθηκαν με μια σειρά από βασικές και χρήσιμες πτυχές της έρευνας για την διδακτική της χημείας. Το πρώτο βιβλίο: «Βασικές γνώσεις της Διδακτικής της Χημείας» απευθύνεται σε ποικίλο κοινό και παρέχει μια επισκόπηση του πεδίου, συζητώντας πώς θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν τα θέματα στην έρευνα της διδακτικής της χημείας (Bunce & Cole, 2008). Το δεύτερο βιβλίο: «Εργαλεία Έρευνας για την Διδακτική της Χημείας» απευθύνεται σε ερευνητές που επιθυμούν να μάθουν περισσότερα για συγκεκριμένες τεχνικές στην έρευνα της διδακτικής της χημείας (Bunce & Cole, 2014). Καλύπτει μια σειρά από τομείς έρευνας και των ποιοτικών και των ποσοτικών μεθόδων. Τέλος, υπάρχει μια έκθεση από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των Η.Π.Α. σχετικά με τον «Τομέα που βασίζεται στην εκπαιδευτική έρευνα» και που αφορά την κατανόηση και τη βελτίωση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες και τεχνολογία (engineering) σε προπτυχιακό επίπεδο (Singer, Nielsen, & Schweingruber, 2012).

Σήμερα, οι ερευνητές στη διδακτική της χημείας έχουν στη διάθεσή τους πολλές εκπαιδευτικές θεωρίες, μοντέλα και εργαλεία από το γνωστικό και συναισθηματικό πεδίο, όπως ο εποικοδομισμός [του οποίου, όπως περιγράφει ο George Bodner (2001), υπάρχουν πολλές μορφές], το πλαίσιο εναλλακτικών αντιλήψεων, ο επιστημονικός γραμματισμός, η μάθηση με βάση την καθημερινή ζωή και τις εφαρμογές, η συνεργατική μάθηση, η φιλοσοφία και η ιστορία της χημείας, η εργαστηριακή εργασία και οι νέες εκπαιδευτικές τεχνολογίες.

1.5. Ο Εποικοδομισμός: θεωρία και πράξη της σύγχρονης διδακτικής των φυσικών επιστημών³

Η εκπαιδευτική και η γνωσιακή ψυχολογία καθώς και η φιλοσοφία-επιστημολογία έχουν προσφέρει στην επιστημονική εκπαίδευση μια σειρά από υποστηρικτικές θεωρίες. Πρώτα από όλα ο συμπεριφορισμός, ο οποίος ευνόησε την άμεση μετάδοση της γνώσης από τον δάσκαλο στον μαθητή. Ο συμπεριφορισμός παρέμεινε εξωτερικός στη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών. Παρείχε μόνο τα μέσα (δηλαδή τον έπαινο ή την τιμωρία) που διευκόλυναν ή ακόμα και επέβαλλαν τη μετάδοση άθικτης γνώσης (Tsaparlis, 2001).

Η εμφάνιση της γνωστικής ψυχολογίας του Piaget προκάλεσε μια αλλαγή υποδείγματος (a paradigm shift) στα ερευνητικά προγράμματα της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Η θεωρία του Piaget κυριάρχησε στην έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών για περίπου δύο δεκαετίες (Tsaparlis, 2001).

1.5.1. Οι έννοιες του Ρεαλισμού και του Εμπειρισμού

Σύμφωνα με τον *Ρεαλισμό*: ο δάσκαλος μεταβιβάζει στους μαθητές τους μοναδικούς αυθύπαρκτους φυσικούς νόμους, οι οποίοι γίνονται δεκτοί χωρίς συζήτηση και αμφισβήτηση. Ο μαθητής θεωρείται ως «tabula rasa» και απλός αποδέκτης της έτοιμης γνώσης.

Σύμφωνα με τον *Εμπειρισμό*: οι μαθητές κατασκευάζουν την δική τους ερμηνεία για τον φυσικό κόσμο. Οι ιδέες των μαθητών συντελούν στην εννοιολογική αλλαγή.

1.5.2. Οι διδακτικές μεθοδολογίες

- α) Ρεαλιστική προσέγγιση και συμπεριφορισμός (behaviourism): αποτελεί τη μέθοδο της αμοιβής και της τιμωρίας.
- β) Εποικοδομική προσέγγιση: ο μαθητής καθοδηγείται στην δόμηση της γνώσης. Ο δάσκαλος αποτελεί τον συνεργάτη του μαθητή και μεσολαβητή στην δόμηση της γνώσης και στην εννοιολογική αλλαγή.

³ Το εδάφιο αυτό βασίζεται σε αδημοσίευτες ομότιτλες προσκεκλημένες διαλέξεις που έδωσε ο Γ. Τσαπαρλής σε σεμινάρια εκπαιδευτικών φυσικών επιστημών στον Πειραιά (2003) και στη Μύρινα Λήμνου (Νοέμβριος 2003). Βλ. ακόμη: Γ. Τσαπαρλής, «Ο εποικοδομητισμός στη διδασκαλία της Χημείας», Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών – Έρευνα και Πράξη, 2002, τεύχος 3, 50-52.

Ο εποικοδομισμός (κονστρουκτιβισμός) είναι βασικά μια θεωρία βασισμένη στην παρατήρηση και την επιστημονική μελέτη για το πώς μαθαίνουν οι άνθρωποι. Σύμφωνα με αυτόν οι άνθρωποι κατασκευάζουν την κατανόηση και τη γνώση που έχουν για τον κόσμο, μέσα από τις εμπειρίες και τα βιώματα που ζουν, αναστοχαζόμενοι πάνω σε αυτές (Αθανασίου, 2015). Ο εποικοδομισμός ως μια φιλοσοφική επιστημολογική θεωρία (συνώνυμη του εμπειρισμού) έρχεται σε αντίθεση με τον ρεαλισμό. Ο ρεαλισμός και ο εμπειρισμός μπορούν να θεωρηθούν ως δύο άκρα σε ένα συνεχές. Μέχρι τις αρχές του εικοστού αιώνα η επιστήμη ήταν πιο κοντά στον εμπειρισμό, αλλά όσο περνούσε ο καιρός προσέγγιζε περισσότερο την οπτική του ρεαλισμού (Tsaparlis, 2001).

1.5.3. Οι παραλλαγές του εποικοδομισμού

Δύο είναι οι σημαντικές παραλλαγές του εποικοδομισμού:

- α) Ο ψυχολογικός εποικοδομισμός του Piaget: η δόμηση της γνώσης συσχετίζεται με τη νοητική ανάπτυξη.
- β) Ο κοινωνικός εποικοδομισμός του Durkheim: Εδώ ως σημαντική για την δόμηση της γνώσης θεωρείται η επίδραση του κοινωνικού περιβάλλοντος. Βρίσκεται πολύ κοντά στην ανάπτυξη των εννοιών σύμφωνα με την θεωρία του Vygotsky.

Για τους εποικοδομιστές: η γνώση αναφέρεται σε μια έννοια που είναι δραστικά διαφορετική από αυτή της αντικειμενικής αναπαράστασης του κόσμου, ο οποίος είναι ανεξάρτητος του παρατηρητή. Έτσι, θεωρούν ότι η γνώση αναφέρεται σε εννοιολογικές δομές που οι άνθρωποι, στην έκταση των εμπειριών τους και μέσα στην παράδοση της σκέψης τους και της γλώσσας τους, τις θεωρούν βιώσιμες.

Σύμφωνα με τον Piaget η γνώση είναι μια λειτουργία προσαρμογής. Η γνώση δεν είναι και δεν μπορεί να είναι μια αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου, αλλά μια συλλογή εννοιολογικών δομών που έχουν καταλήξει να είναι βιώσιμες στο εύρος των εμπειριών των ατόμων.

Στην εποικοδομική προσέγγιση, τα νοήματα του ομιλητή δεν μπορεί παρά να είναι υποκειμενικά κατασκευάσματα που έχουν βγει από τις προσωπικές εμπειρίες του. Σε αυτή την περίπτωση, είναι πιθανή κάποια συμμόρφωση και προσαρμογή. Στη θεωρία μάθησης του Piaget, η εννοιολογική αλλαγή και μάθηση συμβαίνει όταν ένα σχήμα αντί να παράγει το αναμενόμενο αποτέλεσμα οδηγεί σε διαταραχή και η διαταραχή κατά συνέπεια οδηγεί σε αφομοίωση που καθιερώνει μια νέα ισορροπία. Η μάθηση και η γνώση που δημιουργείται έχουν το ρόλο εργαλείων.

Η ισορροπία στη σφαίρα της γνώσης είναι κατάσταση στην οποία οι εννοιολογικές δομές ενός ατόμου έχουν αποφέρει και συνεχίζουν να αποφέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, χωρίς να έρχονται στην επιφάνεια εννοιολογικές συγκρούσεις ή αντιθέσεις. Στην περίπτωση των δασκάλων, η γλώσσα γίνεται ένα μέσο περιορισμού και αυτοπροσανατολισμού του μαθητή σε συγκεκριμένες εννοιολογικές κατασκευές. Το να μιλάς δεν είναι αρκετό, γιατί η κατανόηση δεν είναι απλώς ένα θέμα παθητικής λήψης αλλά ενεργητικής δόμησης. Πολλοί που εμπλέκονται σε εκπαιδευτικές δραστηριότητες συνεχίζουν και ενεργούν πιστεύοντας ότι η λεκτική επανάληψη δεδομένων και αρχών μπορεί τελικά να επιτύχει την επιθυμητή κατανόηση εκ μέρους των μαθητών.

1.5.4. Συνέπειες για την εκπαίδευση

Η γνωστική θεωρία εποικοδομισμού έχει επιφέρει δραστικές αλλαγές στην εκπαίδευση. Η διαφορά μεταξύ εκπαίδευσης και μάθησης είναι πιο ευκρινής, προάγει δεξιότητες και την ενεργητική δόμηση βιώσιμων εννοιολογικών δικτύων, όπως η κατανόηση. Οι άνθρωποι της εκπαίδευσης θα διευκρίνιζαν πιο καλά τους σκοπούς που θέλουν να επιτευχθούν. Τα προγράμματα σπουδών αποκτούν μεγαλύτερη εσωτερική συνοχή και γίνονται πιο αποτελεσματικά (επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της απόδοσης σε μια δεξιότητα από την κατανόηση).

Η απλή επανάληψη έχει κάποια αξία στην εκπαίδευση, αλλά δεν μπορεί να οδηγήσει στην κατανόηση. Ο δάσκαλος θα πρέπει να κατέχει ένα ικανοποιητικό μοντέλο του εννοιολογικού δικτύου μέσω του οποίου ο μαθητής αφομοιώνει αυτά που ακούει. Χωρίς αυτό, η διδασκαλία βασίζεται στην τύχη. Από την εποικοδομική πλευρά, η μάθηση είναι το προϊόν αυτοοργάνωσης. Η γνώση δεν θα πρέπει ποτέ να αποκτάται παθητικά διότι δεν θα μπορούμε να χειρισθούμε την νέα γνώση, παρά μόνο εάν την αφομοιώσουμε σε μια γνωστική δομή που ήδη υπάρχει.

Πρέπει να δούμε ότι οι μαθητές δεν μοιράζονται απαραίτητα τους ίδιους στόχους με τους επιστήμονες. Πρέπει τουλάχιστο όμως να αναγνωρίσουμε ότι οφείλουν να μοιράζονται με αυτούς τον στόχο της δόμησης σχετικά συγκροτημένων και αξιόπιστων εννοιολογικών μοντέλων, γιατί κάνοντας αυτό επεκτείνουν την κατανόησή τους. Απλώς το να απομνημονεύουν δεδομένα και να εκπαιδεύονται σε διαδικασίες «μηχανικής μάθησης» δεν βοηθάει σε τίποτα.

1.5.5. Οι έννοιες των φυσικών επιστημών σύμφωνα με τη θεωρία του Vygotsky

[5ο και 6ο κεφάλαιο του βιβλίου: «Σκέψη και Γλώσσα», ΗΠΑ (1962)⁴]

Στόχος του Vygotsky ήταν, μέσω της μελέτης του σχηματισμού και της ανάπτυξης των εννοιών στα παιδιά, να οδηγηθεί στην γνώση του τρόπου σκέψεως των παιδιών, και εξ αυτού σε καλύτερες μεθόδους διδασκαλίας. Με τα δικά του λόγια, «Για να επινοήσουμε πετυχημένες μεθόδους διδασκαλίας της συστηματικής γνώσης σε έναν μαθητή, είναι απαραίτητο να καταλάβουμε την ανάπτυξη των επιστημονικών εννοιών στο μυαλό του παιδιού" (Vygotsky, 1986, p. 146).

Ο όρος “επιστημονικές έννοιες” χρησιμοποιείται από τον Vygotsky με ευρεία σημασία, περιλαμβάνοντας έννοιες από τις κοινωνικές επιστήμες, από την γλώσσα, τα μαθηματικά και τις φυσικές επιστήμες.

Περαιτέρω, οι έννοιες αυτές νοούνται με συστηματική και ιεραρχική γνώση, σε αντίθεση με τις μη συστηματικές, ανοργάνωτες, και προσαρμοσμένες σε καθορισμένο πλαίσιο έννοιες της καθημερινής ζωής. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών εννοιών είναι η παρουσία ή η απουσία συστηματικότητας (ενός συστήματος).

1.5.6. Σύγκριση Piaget και Vygotsky

Σημεία στα οποία και οι δύο συμφωνούσαν: α) Αμφότεροι ήταν εποικοδομιστές, υπό την έννοια ότι πίστευαν ότι κάθε άτομο δομεί την δική του γνώση και σημασίες. β) Αμφότεροι πίστευαν ότι η σκέψη των παιδιών περιορίζεται εξαιτίας της απουσίας πριν από την εφηβεία συγκεκριμένων υψηλότερων νοητικών λειτουργιών.

Ο Vygotsky θεωρούσε την διδασκαλία (δηλαδή την αλληλεπίδραση με ενήλικες ή με πιο προχωρημένους συμμαθητές), απαραίτητη για την νοητική ανάπτυξη. Απέρριπτε την άποψη ότι διδασκαλία και ανάπτυξη είναι ανεξάρτητες, δηλαδή ότι η διδασκαλία δεν επηρεάζει την ανάπτυξη, αλλά πρέπει να την περιμένει.

Η έμφαση όμως δόθηκε από τον Vygotsky στην ιδέα ότι η ανάπτυξη συμβαίνει μέσω της κοινωνικής αλληλεπίδρασης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων και μεταξύ των ίδιων των παιδιών.

⁴ Vygotsky, L. (1986). Thought and language (A. Kozulin, transl.). Cambridge MIT Press. (Η αρχική αγγλική μετάφραση δημοσιεύθηκε το 1962.)

1.5.7. Στοιχεία της θεωρίας του Vygotsky για την ανάπτυξη των επιστημονικών
εννοιών

Ο Vygotsky διακρίνει τις έννοιες σε *καθημερινές* και *επιστημονικές*. Καθημερινές είναι οι έννοιες που σχηματίζει το παιδί από την εμπειρία και την προσωπική του σκέψη. Επιστημονικές είναι οι έννοιες που μαθαίνει το παιδί στο σχολείο. Αντίθετα ο Piaget διακρίνει τις έννοιες σε *αυθόρμητες* και *μη αυθόρμητες*, εστιάζει όμως την προσοχή του στις αυθόρμητες έννοιες και όχι στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στις δύο.

Ο Vygotsky βλέπει μια διαλεκτική ανάμεσα στις έννοιες που αποκτώνται μέσω της καθημερινής εμπειρίας και σε εκείνες που διδάσκονται στο σχολείο. Οι καθημερινές έννοιες βασίζονται σε ειδικές περιπτώσεις και δεν συνιστούν μέρος ενός συνεκτικού συστήματος σκέψης. Ενώ οι επιστημονικές έννοιες (δηλαδή αυτές που μαθαίνονται στο σχολείο) παρουσιάζονται και μαθαίνονται ως μέρος ενός συστήματος σχέσεων, και γι' αυτό δομούνται με τον καιρό. Η εννοιολογική αλλαγή είναι μια συνεχής διαδικασία κατά την οποία το παιδί, σε συνεργασία με τον δάσκαλο ή άλλον συμμαθητή, εντάσσει τις καθημερινές έννοιες σε ένα σύστημα σχετικών εννοιών και μετασχηματίζει το ακατέργαστο υλικό της εμπειρίας σε ένα συνεκτικό σύστημα εννοιών.

1.5.8. Εποικοδομισμός και χημεία⁵

Η χημεία σήμερα διδάσκεται και εξετάζεται με έναν συγκεκριμένο τρόπο στη μέση εκπαίδευση. Αυτός ο τρόπος δίνει κυρίως έμφαση σε μαθησιακούς κανόνες και αλγορίθμους. Οι κανόνες αυτοί είναι «ευνοϊκοί» για τους επιμελείς μαθητές, οι οποίοι μπορούν να ανταποκρίνονται με επιτυχία στις ερωτήσεις και τα προβλήματα/ασκήσεις που τίθενται στις εξετάσεις, περιλαμβανομένων σχετικώς περίπλοκων υπολογιστικών ασκήσεων (Τσαπαρλής, 2019). Η χημεία στα προγράμματα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ασχολείται κυρίως με διάφορα θέματα όπως:

- Ο τρόπος που τοποθετούνται τα ηλεκτρόνια σε στιβάδες, υποστιβάδες και τροχιακά,
- η εκμάθηση των αριθμών οξειδώσεως,
- η τρόπος γραφής χημικών τύπων,
- η συμπλήρωση και ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων,

⁵ Βλ. και Γ. Τσαπαρλής, «Ο εποικοδομητισμός στη διδασκαλία της Χημείας», Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών – Έρευνα και Πράξη, 2002, τεύχος 3, 50-52.

- ο υπολογισμός θερμοτήτων αντιδράσεων κ.λπ.

Από την άλλη, οι μαθητές έχουν, κατά κανόνα, άγνοια και δεν μπορούν να απαντήσουν σε ερωτήματα όπως:

- Γιατί το χλώριο εμφανίζει τόσους αριθμούς οξείδωσης;
- Γιατί υπάρχουν αυθόρμητες ενδόθερμες αντιδράσεις;
- Γιατί οι αντιδράσεις οδηγούν εν γένει σε ισορροπία;

Ως εκπαιδευτικοί παρουσιάζουμε στους μαθητές μας θεμελιώδεις έννοιες σχετικές με τη δομή της ύλης ως απόλυτες αλήθειες. Είναι όμως πολύ σημαντικό να βοηθήσουμε τους μαθητές να κατανοήσουν έννοιες όπως αυτές που αναφέραμε. Για να γίνει όμως αυτό θα πρέπει οι μαθητές να καταφέρουν να συνδέσουν το μακροσκοπικό με το υπομικροσκοπικό επίπεδο της χημείας, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω των πειραμάτων. Τέλος, αντί να περιμένουμε από τους μαθητές να αποδέχονται την αλήθεια του λόγου του καθηγητή τους, θα πρέπει να προσφέρουμε στους ίδιους τους μαθητές την ευκαιρία να φθάσουν σε απαντήσεις ερωτήσεων του τύπου (Τσαπαρλής, 2019):

- Πώς ξέρουμε ότι υπάρχουν τα μόρια και τα άτομα;
- Πώς καταλήξαμε στην δομή του ατόμου και του πυρήνα;
- Πώς μετρήθηκε το ηλεκτρικό φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου;
- Πώς προσδιορίστηκαν οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων;
- Σε ποια πειραματικά δεδομένα βασίστηκε η τοποθέτηση των ηλεκτρονίων σε στιβάδες και σε τροχιακά;
- Τι είναι ένα ατομικό και τι είναι ένα μοριακό τροχιακό;
- Πώς ξέρουμε ότι τα άτομα στα μόρια δονούνται και ότι τα μόρια στα αέρια και στα υγρά περιστρέφονται;
- Ποια δεδομένα μάς υποχρέωσαν να δεχθούμε την ύπαρξη διατομικών μορίων αρκετών στοιχείων;
- Πώς βρίσκονται οι χημικοί τύποι των ενώσεων;

Προς αυτή την κατεύθυνση μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται το νέο αναλυτικό πρόγραμμα χημείας της γ' λυκείου. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τη χρησιμότητα των διαφόρων φασματοσκοπιών που μελετώνται στο 2° Κεφάλαιο του σχολικού βιβλίου (Εισαγωγή στις Φασματοσκοπικές Τεχνικές Ανάλυσης) (ΙΕΠ, 2021).

1.6. Εναλλακτικές ιδέες και παρανοήσεις των μαθητών για τις έννοιες των φυσικών επιστημών

Σύμφωνα με τους Τσαπαρλή και Καμπουράκη (2000): «Οι φυσικές επιστήμες θεωρούνται ως οι δομές (constructs) που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν τη φύση, παρά τα φυσικά δεδομένα και τα φαινόμενα αυτά καθαυτά. Σ' αυτή την προσέγγιση, το κοινωνικό πλαίσιο στο οποίο πραγματώνεται η μάθηση είναι αποφασιστικής σημασίας, καθώς τα επιμέρους πρόσωπα εμπλέκονται σε συζητήσεις σχετικές με τις ερμηνείες που δίνουν οι επιστήμονες για τη φύση».

1.6.1. Ο ορισμός της παρανόησης

Αν θέλουμε να δώσουμε έναν σύντομο ορισμό της παρανόησης, τότε μπορούμε να πούμε ότι η παρανόηση είναι μια «επιστημονικά μη κανονική ιδέα». Βέβαια στη βιβλιογραφία εντοπίζονται πολλές φορές και άλλοι χαρακτηρισμοί σχετικοί με τις παρανοήσεις, όπως: προαντιλήψεις, εναλλακτικές απόψεις/ιδέες, αφελείς εξηγήσεις, αφελείς ιδέες, διαισθητικές ιδέες, πρωταρχικές απόψεις, προηγούμενες ιδέες κ.ά. (Γιασεμής, 2015; NRC, 2012).

Είναι εντελώς διαφορετικό να χρησιμοποιούμε λέξεις στην καθημερινή μας ζωή από ό,τι στην επιστημονική γλώσσα. Οι μαθητές αποδίδουν ένα δικό τους νόημα στις λέξεις που πολλές φορές χρησιμοποιούμε στην επιστημονική γλώσσα. Το πρόβλημα θα εμφανιστεί όταν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις απόψεις των μαθητών και στις απόψεις των ειδικών. Σε αυτή την περίπτωση την εσφαλμένη άποψη του μαθητή την αναφέρουμε ως παρανόηση. Σε αντίθεση με αυτό που ο μαθητής γνωρίζει ότι αποτελεί λάθος, οι παρανοήσεις είναι βαθιά ριζωμένες στους μαθητές και ανθεκτικές στην απομάκρυνσή τους (Λυρατζόπουλος, 2015).

1.6.2. Οι κατηγορίες των παρανοήσεων

Έχει παρατηρηθεί ότι στις προφορικές αλλά και στις γραπτές εξετάσεις ακόμη και οι καλύτεροι μαθητές οδηγούνται πολλές φορές απλώς στη μηχανική μάθηση λέξεων, εννοιών, ορισμών και διαδικασιών. Παρά το ότι επιτυγχάνουν να μαθαίνουν μηχανικά, δεν έχουν κατανοήσει πλήρως τα φαινόμενα με τα οποία ασχολούνται (Gooding & Metz, 2011; National Research Council, 1997).

Οι παρανοήσεις ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες (Λυρατζόπουλος, 2015):

1. Προπαρασκευασμένες ιδέες: προκύπτουν μέσα από την καθημερινή δραστηριότητα των μαθητών, π.χ. οι μαθητές κατά το βράσιμο του νερού πιστεύουν ότι οι φυσαλίδες που δημιουργούνται είναι γεμάτες με αέρα και δεν μπορούν να αντιληφθούν την εξάτμιση του νερού.
2. Μη επιστημονικές απόψεις: συνδέονται κυρίως με αυτά που οι μαθητές γνωρίζουν από την διδασκαλία μιας θρησκείας, όπου οι μαθητές μαθαίνουν τη δημιουργία των διαφόρων ειδών, της Γης και του κόσμου γενικότερα με έναν διαφορετικό τρόπο. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τη θεωρία της εξέλιξης των ειδών.
3. Εννοιολογικές παρανοήσεις: όταν προηγούμενες γνώσεις αλλά και προσωπικές παρατηρήσεις του μαθητή έρχονται σε αντίθεση με την επιστημονική εξήγηση. Για παράδειγμα, οι μαθητές νομίζουν ότι ορισμένα αντικείμενα που επιπλέουν στο νερό είναι ελαφρύτερα από αυτό και όχι ότι έχουν μικρότερη πυκνότητα.
4. Καθημερινές παρανοήσεις (παρανοήσεις προερχόμενες από την καθομιλούμενη γλώσσα): η πολλαπλή σημασία που μπορεί να έχει μια λέξη μπορεί να αποτελέσει πηγή παρανοήσεων. Στην περίπτωση αυτή μια λέξη μπορεί να έχει διαφορετική σημασία στην καθημερινή γλώσσα σε σχέση με την επιστημονική σημασία της. Για παράδειγμα, στο μάθημα της Γεωλογίας–Γεωγραφίας, όταν γίνεται λόγος για την υποχώρηση των παγετώνων, οι μαθητές μπορεί να αντιλαμβάνονται την έννοια υποχώρηση όπως αναφέρεται στην υποχώρηση των στρατιωτών στη μάχη.
5. Αληθινές παρανοήσεις: λάθος αντιλήψεις που προϋπάρχουν στους μαθητές από τις μικρότερες ηλικίες, οι οποίες διατηρούνται και στη συνέχεια και είναι δύσκολο να αντικατασταθούν από τις σωστές. Αυτό μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση του σπειροειδούς τρόπου διδασκαλίας μιας έννοιας. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την έννοια του ατόμου, η οποία μέχρι και την α' λυκείου διδάσκεται χρησιμοποιώντας το πρότυπο του Bohr, ενώ σε μεγαλύτερες τάξεις το μοντέλο αυτό αναφέρεται ως λανθασμένο και θα πρέπει να αντικατασταθεί από πιο σύγχρονες αντιλήψεις για το άτομο.

1.7. Ο χημικός δεσμός στη χημική εκπαίδευση

Για τον χημικό δεσμό έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί όπως: είναι σαν κόλλα που κρατάει άτομα μαζί ή είναι ένα ζευγάρι ηλεκτρονίων που μοιράζονται δύο άτομα και τα κρατά ενωμένα μαζί. Έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί (για την καλύτερη κατανόησή τους από τους μαθητές) διάφορα μοντέλα μορίων με σφαίρες και μαστουνάκια (ball-and-stick). Σε αναπαραστασιακό/συμβολικό επίπεδο έχει επικρατήσει η χρήση των δομών Lewis, όπου τα ηλεκτρόνια σθένους μεταξύ των ατόμων που λαμβάνουν μέρος στο σχηματισμό του δεσμού αναπαρίστανται με κουκίδες.

Σύμφωνα με τον καθ. Γ. Τσαπαρλή (Tsaparlis, 1997), κατά την πρώτη επαφή που έχουν οι μαθητές με τη χημεία θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στα άτομα και τα μόρια ως βασικές δομικές μονάδες της ύλης. Δεν θα πρέπει να αναφερθούν λεπτομέρειες σχετικές με την ατομική και μοριακή δομή όπως: ηλεκτρόνια, στιβάδα σθένους, περιοδικός πίνακας, ιοντικός δεσμός, ομοιοπολικός δεσμός κ.ά. Το μόριο θα πρέπει να εισαχθεί ως το μικρότερο κομμάτι ύλης που διατηρεί ορισμένες ιδιότητες της καθαρής ουσίας. Μετά από αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ορισμός για το μόριο. Η εισαγωγή της έννοιας του ιόντος μπορεί να γίνει ως μια στοιχειώδης μονάδα θετικού ή αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου. Η έννοια του ιόντος είναι σημαντική στη διευκόλυνση της κατανόησης εννοιών και θεμάτων όπως: οι ιοντικοί δεσμοί, η διάκριση μεταξύ ιοντικών και ομοιοπολικών δεσμών, ο διαχωρισμός των ατόμων των στοιχείων σε ηλεκτροθετικά και σε ηλεκτραρνητικά κ.ά. Επίσης μπορεί να γίνεται χρήση παρατηρήσιμων εννοιών αντί αφηρημένων, ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τη χρήση του ηλεκτρικού χαρακτήρα αντί του χημικού δεσμού. Σχετικά με την ατομική και μοριακή δομή θα βοηθούσε καλύτερα στην κατανόησή τους από τους μαθητές αν ο εκπαιδευτικός ακολουθούσε ένα είδος «ιστορικής αναδρομής». Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την παρουσίαση πειραματικών στοιχείων για την ύπαρξη των ατόμων καθώς και την εξέλιξη των ιδεών μας σχετικά με τον χημικό δεσμό. Τέλος οι σύγχρονες κβαντομηχανικές δομικές θεωρίες προκαλούν σύγχυση όχι μόνο στους μαθητές αλλά και σε φοιτητές που έχουν επιτύχει στις εξετάσεις του μαθήματος της κβαντικής χημείας. Αυτό οφείλεται στο ότι οι έννοιες της κβαντικής χημείας δεν μπορούν να κατανοηθούν με μη μαθηματικό τρόπο. Εναλλακτικοί τρόποι διδασκαλίας μπορούν να αποφύγουν έννοιες όπως τα τροχιακά στη χημεία γενικής παιδείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το μοντέλο VSEPR είναι ό,τι απαιτείται για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, ενώ το ηλεκτρονιακό μοντέλο (electron-domain model)

είναι επαρκές για τη χημεία γενικής παιδείας (δίνοντας έμφαση στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα αλλά όχι στα τροχιακά). Για τη θεωρία VSEPR, το ηλεκτρονιακό μοντέλο παρέχει μια φυσική βάση και παράλληλα αποτελεί τη σύνδεση με τη θεωρία δεσμού σθένους.

Σύμφωνα με την πρακτική και τα επιχειρήματα του Johnstone, η διδασκαλία της οργανικής χημείας μπορεί να προηγείται αυτής της ανόργανης χημείας. Στην πραγματικότητα, η οργανική χημεία περιλαμβάνει μόνο λίγα στοιχεία και ο χημικός δεσμός σε οργανικές ενώσεις είναι σχετικά απλός: ένα άτομο άνθρακα δημιουργεί τέσσερις δεσμούς, ένα άτομο υδρογόνου δημιουργεί έναν δεσμό, ένα άτομο οξυγόνου δημιουργεί δύο δεσμούς και ένα άτομο αζώτου δημιουργεί τρεις δεσμούς (Johnstone, Morrison & Reid, 1981; Johnstone, 2000). Επίσης σύμφωνα με τον Johnstone μπορούμε να βοηθήσουμε τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τα σχήματα που μπορούν να έχουν διάφορες χημικές δομές λόγω των διαφόρων χημικών δεσμών. Αυτό μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητό μέσα από μια άλλη οπτική, μπορούμε δηλαδή με τη χρήση μακρών μπαλονιών να αναπαραστήσουμε τους δεσμούς και να δείξουμε πώς αυτοί απωθούνται μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίσουν γραμμικές, τριγωνικές ή τετραεδρικές διατάξεις (Johnstone, 2000).

Μια ιδέα ενός μοντέλου διδασκαλίας είναι να παρουσιαστούν οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ως κοινή βάση για όλα τα είδη χημικών δεσμών. Αυτό έχει ως σκοπό την εισαγωγή ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων ως βάσης για όλους τους τύπους χημικών δεσμών, προτού οι μαθητές υιοθετήσουν το πλαίσιο του κανόνα της οκτάδας (Joki & Aksela, 2018). Αυτό προτείνεται να γίνει διότι ο κανόνας της οκτάδας θεωρείται «προβληματικός» (De Jong & Taber, 2014). Ο Taber (2000) αναφέρει ότι οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την κανόνα της οκτάδας για να εξηγήσουν το σχηματισμό του χημικού δεσμού, όπως επίσης την αρχή ελάχιστης ενέργειας και την ηλεκτροστατική φύση των δεσμών, χωρίς όμως να μπορούν να συνδέσουν αυτές τις έννοιες μεταξύ τους.

1.7.1. Η αξιολόγηση ερωτήσεων σε διεθνή βιβλία γενικής χημείας

[Pappa και Tsaparlis (2011)]

Σε εργασία τους η Παππά και ο Τσαπαρλής (Pappa & Tsaparlis, 2011) ανέλυσαν ερωτήσεις σχετικές με τους χημικούς δεσμούς που περιλαμβάνονται σε κεφάλαια δέκα εγχειριδίων γενικής χημείας. Ως σκοπό είχαν να ελέγξουν κατά πόσο τα εκπαιδευτικά εγχειρίδια επιτυγχάνουν τον στόχο τους αλλά και να αξιολογήσουν τις ερωτήσεις που

περιέχουν. Μελετήθηκαν ερωτήσεις που σχετίζονταν με τον ενδομοριακό και τον διαμοριακό δεσμό. Παρατηρήθηκε ότι οι ερωτήσεις που ήταν σχετικές με τον ενδομοριακό δεσμό υπερτερούσαν αριθμητικά. Εξετάστηκαν δύο πτυχές των ερωτήσεων: η μορφή τους (κλειστού ή ανοιχτού τύπου) και το είδος της γνώσης που δοκιμάζουν (δηλωτική ή διαδικαστική γνώση). Στη συνέχεια οι ερωτήσεις κατηγοριοποιήθηκαν ακολουθώντας τη σχέση ερώτησης-απάντησης (Question-And_Answer, QAR) των Pearson, Johnson και Raphael. Η κατηγοριοποίηση σε αυτή την περίπτωση είχε την εξής δομή (Συνολικά τέσσερις κατηγορίες):

(1) Κειμενοκεντρικές ερωτήσεις, οι οποίες χωρίζονται σε:

(α) «Ακριβώς εκεί / Αυτολεξεί», (β) «Σκέψου και ψάξε» και

(2) γνωσιοκεντρικές ερωτήσεις, οι οποίες χωρίζονται σε:

(α) «Εσύ και ο συγγραφέας», (β) «Μόνος σου».

Τελικά παρατηρήθηκε ότι οι ερωτήσεις κλειστού τύπου ήταν πολύ περισσότερες των ερωτήσεων ανοιχτού τύπου. Οι περισσότερες ερωτήσεις των τεστ συσχετίζονταν με τη δηλωτική γνώση, με τις λιγότερες ερωτήσεις να αντιστοιχούν σε διαδικαστική γνώση. Υπήρξε παντελής έλλειψη μεταγνωστικών ερωτήσεων. Δεν βρέθηκαν ερωτήσεις που να συσχετίζονται με πειραματικές διαδικασίες.

Τα κείμενα που αναλύθηκαν αντλήθηκαν από τη Βιβλιοθήκη του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και επιλέχθηκαν από ένα σύνολο δεκαπέντε διαθέσιμων κειμένων. Τα δέκα βιβλία που επιλέχθηκαν ήταν τα ακόλουθα (με αλφαβητική σειρά): (1) Atkins, and Jones (2001); (2) Chang (2000); (3) Kotz and Treichel (2003); (4) Lewis and Evans (1997); (5) Pauling and Pauling (1975); (6) Sherman and Sherman (1993); (7) Silberberg (2006); (8) Spencer, Bodner, and Rickard (2008); (9) Timberlake (2002); (10) Whitten and Peck (1999).

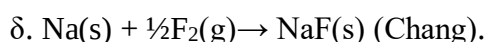
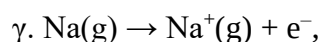
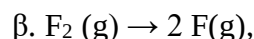
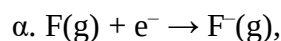
Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε από τον ένα συγγραφέα και ο έλεγχος από τον άλλο συγγραφέα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα από τα παραπάνω βιβλία για κάθε τύπο ερώτησης ανάλογα με τη μορφή της ερώτησης. Δεν εντοπίστηκαν παραδείγματα για έναν αριθμό τύπων και κατηγοριών ερωτήσεων.

1.7.1.1. Παραδείγματα ερωτήσεων για το χημικό δεσμό:

Ε.1. Πολλαπλής επιλογής: Ποιο από τα παρακάτω είδη περιέχει τουλάχιστον ένα άτομο που παραβιάζει τον κανόνα της οκτάδας; a) F-Cl, b) O-Cl-O, c) F-Xe-F, d) SO_4^{2-} (Whitten, Davis and Peck).

E.2. Διαζευκτική απάντηση: Προσδιορίστε εάν οι δεσμοί στις ακόλουθες ενώσεις είναι ιοντικοί ή ομοιοπολικοί; a) HI, b) SrCl₂, c) CO, d) MgF₂, e) AsH₃ (Sherman and Sherman).

E.3. Σύζευξη/ταίριασμα: Αντιστοιχίστε καθεμία από τις ακόλουθες μεταβολές ενέργειας με μία από τις διεργασίες που δίνονται: ενέργεια ιοντισμού, συγγένεια ηλεκτρονίων, ενέργεια διάστασης δεσμού και πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού:



E.4. Ταξινόμηση: Ταξινομήστε τις ακόλουθες ενώσεις με σειρά αυξανόμενης πολικότητας των δεσμών τους: H₂Se, H₂O, H₂S, H₂Te. (Sherman and Sherman)

E.5. Συμπλήρωσης κενού: α) Όταν κάθε άτομο χρησιμοποιεί δύο ηλεκτρόνια για να σχηματίσει τον δεσμό, ονομάζεται ομοιοπολικός δεσμός. β) Όταν κάθε άτομο χρησιμοποιεί τρία ηλεκτρόνια για να σχηματίσει τον δεσμό, ονομάζεται ομοιοπολικός δεσμός. γ) Όταν κάθε άτομο χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει τον δεσμό, ονομάζεται ομοιοπολικός δεσμός. (Sherman and Sherman)

E.6. Σύντομης απάντησης: Ονομάστε το είδος των δυνάμεων που μπορούν να εμπλέκονται μεταξύ δύο μορίων και μεταξύ ιόντων και μορίων. (Kotz) / Ποιος τύπος δύναμης είναι υπεύθυνος για τους χημικούς δεσμούς; / Εξηγήστε τη διαφορά μεταξύ ιοντικού και ομοιοπολικού δεσμού. (Whitten, Davis, and Peck)

1.7.1.2. Ανάλυση σχέσης ερώτησης-απάντησης (QAR)

Για να προσδιοριστούν οι γνωστικές διαδικασίες που θα έπρεπε να ενεργοποιηθούν για την απάντηση των διαφόρων ερωτήσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι τέσσερις κατηγορίες που περιγράφονται στη σχέση ερώτησης-απάντησης. Ελήφθησαν επίσης υπόψη οι ταξινομίες του Bloom, του Smith και του Barrett.

1.7.1.3. Παραδείγματα κειμενοκεντρικών ερωτήσεων:

E.7. Ακριβώς εκεί – Δηλωτική γνώση/Βασικό επίπεδο: Τι είναι ο ομοιοπολικός δεσμός; Περιγράψτε με αναφορά στα μόρια H₂ και CH₄. (Pauling and Pauling)

E.8. Ακριβώς εκεί - Διαδικαστική γνώση/Βασικό επίπεδο: Για την αντίδραση $O_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow O_{3(g)}$ $\Delta H^{\circ} = -107.2 \text{ kJ}$. Υπολογίστε τη μέση ενέργεια του δεσμού στο O_3 . (Chang)

E.9. Σκέψου και ψάξε - Δηλωτική γνώση/Βασικό επίπεδο: Δώστε τους παρακάτω όρους: α) ιοντικός δεσμός, β) ομοιοπολικός δεσμός, γ) πολικός ομοιοπολικός δεσμός, δ) μη πολικός ομοιοπολικός δεσμός, ε) πολικό μόριο, στ) μη πολικό μόριο. (Sherman and Sherman)

E.10. Σκέψου και ψάξε - Δηλωτική γνώση/Ανώτερο επίπεδο: Γιατί το νάτριο δεν σχηματίζει το ιόν Na^{2+} στις ενώσεις του; (Lewis and Evans)

E.11. Σκέψου και ψάξε - Διαδικαστική γνώση/ Ανώτερο επίπεδο: Γράψτε δομές Lewis για τα ακόλουθα μόρια που περιέχουν άζωτο: α) N_2O , β) N_2O_3 (ON- NO_2). (Spencer, Bodner and Rickard)

1.7.1.4. Παραδείγματα γνωσιοκεντρικών ερωτήσεων:

E.12. Εσύ και ο Συγγραφέας - Δηλωτική γνώση/Βασικό επίπεδο: Ποια από τις παρακάτω ενώσεις αναμένεται να σχηματίσει διαμοριακούς δεσμούς υδρογόνου σε υγρή κατάσταση; α) H_2Se , β) HCO_2H (μυρμηκικό οξύ), γ) HI , δ) ακετόνη. (Kotz and Treichel)

E.13. Εσύ και ο Συγγραφέας - Δηλωτική γνώση/ Ανώτερο επίπεδο: Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός ομοιοπολικών δεσμών που θα μπορούσε να σχηματίσει ένα στοιχείο της δεύτερης περιόδου; Πώς μπορούν τα αντιπροσωπευτικά στοιχεία πέρα από τη δεύτερη περίοδο να σχηματίσουν περισσότερους από αυτόν τον αριθμό ομοιοπολικών δεσμών; (Whitten, Davis, and Peck)

E.14. Μόνος σου - Δηλωτική γνώση/Βασικό επίπεδο: (α) Ανατρέξτε σε όσα γνωρίζετε για τον χημικό δεσμό χωρίς να συμβουλευτείτε το βιβλίο σας. (β) Συμβουλευτείτε μια εγκυκλοπαίδεια ή το Διαδίκτυο για να συγκεντρώσετε πληροφορίες σχετικά με τους τύπους χημικών δεσμών. (Ερωτήσεις που δημιουργήθηκαν από τον ένα από τους συγγραφείς)

E.15. Μόνος σου - Δηλωτική γνώση/Ανώτερο επίπεδο: Η ουσία πενταμεθυλενοτετραζόλη, $C_6H_{10}N_4$, η οποία χρησιμοποιείται στη θεραπεία ψυχικών ασθενειών, περιέχει ένα δακτύλιο έξι ατόμων άνθρακα και ένα άτομο αζώτου, συντηγμένο με έναν πενταμελή δακτύλιο (δηλαδή με δύο κοινά άτομα). Ο μεγάλος δακτύλιος περιέχει μια ακολουθία πέντε ομάδων CH_2 . Σχεδιάστε έναν δομικό τύπο για

την ουσία με βάση αυτές τις πληροφορίες, με κάθε άτομο να έχει συμπληρώσει τη στιβάδα ηλίου ή νέου. Πόσοι διπλοί δεσμοί υπάρχουν στο μόριο; (Pauling and Pauling)

1.7.1.5. Υποδείξεις [από την εργασία των Pappa και Tsaparlis (2011)]

Τα ευρήματα της εργασίας αυτής οδηγούν στην ανάγκη μιας πιο ισορροπημένης προσέγγισης στα διάφορα είδη των ερωτήσεων. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν περισσότερες ανοιχτού τύπου ερωτήσεις. Θα πρέπει να γίνει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή (στις διάφορες κατηγορίες) των ερωτήσεων κλειστού τύπου. Θα πρέπει να προστεθούν περισσότερες ερωτήσεις σχετικά με τη διαδικαστική γνώση, συμπεριλαμβανομένων των μεταγνωστικών ερωτήσεων. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό, να λαμβάνονται υπόψη οι ιδέες (των μαθητών), που έχουν τεκμηριωθεί στην ερευνητική βιβλιογραφία, για τη διάγνωση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών.

Το σημαντικότερο είναι ότι το μεταγνωστικό επίπεδο αξιολόγησης απουσιάζει εντελώς από τα σχολικά βιβλία που μελετήθηκαν. Συνεπώς, μια πιθανή μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η ταξινόμηση ερωτήσεων σε εργασίες διαφορετικών εισηγητών, ακολουθούμενη από εξέταση της παιδαγωγικής στρατηγικής των εισηγητών σχετικά με τον καλύτερο τρόπο αξιολόγησης της κατανόησης αυτού του θέματος από τους μαθητές.

Τέλος είναι σημαντικό οι εκπαιδευτικοί να γνωρίζουν πόσο σημαντικές είναι οι διάφορες προσεγγίσεις στη διδασκαλία και τη μάθηση, οι οποίες εστιάζουν στην ενεργό δόμηση της γνώσης από τους μαθητές και στην ανάπτυξη γνωστικών δεξιοτήτων ανώτερης τάξης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εμπλοκή των μαθητών σε ομαδική εργασία, επίλυση προβλημάτων, λήψη αποφάσεων και μεταγνωστικές δραστηριότητες. Για το σκοπό αυτό, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να ενθαρρύνονται να αναπτύσσουν και να χρησιμοποιούν τις δικές τους ερωτήσεις και να μην περιορίζονται σε αυτές που βρίσκονται στα σχολικά βιβλία.

1.8. Ο χημικός δεσμός στην ελληνική δευτεροβάθμια χημική εκπαίδευση

1.8.1. Ο χημικός δεσμός στο γυμνάσιο

Οι μαθητές του γυμνασίου διδάσκονται το μάθημα της χημείας στις δύο από τις τρεις τάξεις, στη β' και στη γ' γυμνασίου. Στο ωρολόγιο εβδομαδιαίο πρόγραμμα διατίθεται

μόνον μία (1) ώρα χημεία. Σχεδόν σε όλους τους εκπαιδευτικούς, ο χρόνος αυτός δεν επαρκεί για να καλύψουν σωστά, και όχι αποσπασματικά, την διδαχθείσα ύλη. Στον Πίνακα 1.1 και στον Πίνακα 1.2 παραθέτουμε τις ενότητες και τις υποενότητες των περιεχομένων της χημείας στη β' τάξη και στη γ' τάξη του γυμνασίου αντίστοιχα.

Πίνακας 1.1: Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας στη β' γυμνασίου (Αβραμιώτης και συν., 2021).

Πρόλογος**Γενική ενότητα 1. Εισαγωγή στη Χημεία**

1.1 Τι είναι η Χημεία και γιατί τη μελετάμε

1.2 Καταστάσεις των υλικών

1.3 Φυσικές ιδιότητες των υλικών

Γενική ενότητα 2. Από το νερό στο άτομο - Από το μακρόκοσμο στο μικρόκοσμο

2.1 Το νερό στη ζωή μας

2.2 Το νερό ως διαλύτης - Μείγματα

2.2.1 Μείγματα

2.2.2 Διαλύματα

2.3 Περιεκτικότητα διαλύματος - Εκφράσεις περιεκτικότητας

2.3.1 Περιεκτικότητα διαλύματος στα εκατό βάρος προς βάρος (% w/w)

2.3.2 Περιεκτικότητα διαλύματος στα εκατό βάρος προς όγκο (% w/v)

2.3.3 Περιεκτικότητα διαλύματος στα εκατό όγκο προς όγκο (% v/v)

2.4 Ρύπανση του νερού

2.5 Διαχωρισμός μειγμάτων

2.6 Διάσπαση του νερού - Χημικές ενώσεις και χημικά στοιχεία

2.6.1 Ηλεκτρολυτική διάσπαση του νερού

2.6.2 Φυσικές σταθερές των χημικών ουσιών

2.7 Χημική αντίδραση

2.8 Άτομα και μόρια

2.9 Υποατομικά σωματίδια - Ιόντα

2.10 Σύμβολα χημικών στοιχείων και χημικών ενώσεων

2.11 Χημική εξίσωση

Γενική ενότητα 3. Ατμοσφαιρικός αέρας

3.1 Σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα

3.2 Οξυγόνο

3.3 Διοξείδιο του άνθρακα

3.4 Η ρύπανση του αέρα

Γενική ενότητα 4. Έδαφος

4.1 Το έδαφος και το υπέδαφος

4.2 Ρύπανση του εδάφους

Από τον Πίνακα 1.1 προκύπτει ότι ενώ δεν μελετάται ούτε αναφέρεται πουθενά η έννοια του χημικού δεσμού, εισάγονται έννοιες οι οποίες είναι σημαντικές και

προαπαιτούμενες για την κατανόηση του χημικού δεσμού. Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε: τα χημικά στοιχεία και τις χημικές ενώσεις, την αναφορά στην ατομική θεωρία, την αναπαράσταση των ατόμων και των μορίων μέσω των προσομοιωμάτων, τα οποία αναφέρονται στην ενότητα 2.8. Επίσης σημαντικές είναι και οι έννοιες: υποατομικά σωματίδια, ιόντα, μοριακός τύπος, κ.ά., που αναφέρονται στις ενότητες 2.9 έως και 2.11. Αξίζει να αναφέρουμε ότι στο τέλος της ενότητας 2.10 γίνεται μια έμμεση αναφορά στον ιοντικό δεσμό, χωρίς όμως να αναφέρεται η έννοια ιοντικός δεσμός. Η παράγραφος όμως αυτή (χημικοί τύποι ιόντων και ιοντικών ενώσεων), τα τελευταία χρόνια δεν αποτελεί τμήμα της διδακτέας ύλης, λόγω προφανώς της δυσκολίας κατανόησης της από τους περισσότερους μαθητές.

Πίνακας 1.2: Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας στη γ' γυμνασίου (Θεοδωρόπουλος και συν., 2021).

1η Ενότητα: Οξέα – Βάσεις – Άλατα

1. Τα οξέα
2. Οι βάσεις
3. Εξουδετέρωση
4. Τα άλατα
5. Εφαρμογές των οξέων, βάσεων και αλάτων στην καθημερινή ζωή

2η Ενότητα: Ταξινόμηση των στοιχείων – Στοιχεία με ιδιαίτερο ενδιαφέρον

1. Ο περιοδικός πίνακας
2. Τα αλκάλια
3. Μερικές ιδιότητες και χρήσεις των μετάλλων
4. Ο άνθρακας
5. Το πυρίτιο
6. Τα αλογόνα

3η Ενότητα: Η Χημεία του άνθρακα

1. Οι υδρογονάνθρακες
2. Πετρέλαιο – Φυσικό αέριο – Πετροχημικά
3. Η αιθανόλη
4. Υδατάνθρακες – Πρωτεΐνες – Λίπη

Από τον Πίνακα 1.2 παρατηρούμε ότι οι μαθητές στη χημεία της γ' γυμνασίου διδάσκονται τόσο οργανική όσο και ανόργανη χημεία. Όπως στη β' γυμνασίου έτσι και εδώ δεν διδάσκεται ο χημικός δεσμός, ενώ διδάσκονται έννοιες που είτε σχετίζονται με τον χημικό δεσμό (π.χ. τα άλατα στην 1^η ενότητα) είτε είναι προαπαιτούμενες πριν από τη διδασκαλία του χημικού δεσμού (π.χ. ο περιοδικός πίνακας, τα αλκάλια, μέταλλα – αμέταλλα, ο άνθρακας κ.ά., στη 2^η ενότητα).

1.8.2. Ο χημικός δεσμός στο λύκειο

Όσον αφορά το γενικό λύκειο, η χημεία διδάσκεται στις δύο πρώτες τάξεις, α' και β' λυκείου, ως μάθημα γενικής παιδείας, για 2 ώρες την εβδομάδα. Τα περιεχόμενα του μαθήματος χημείας της α' και β' λυκείου παρουσιάζονται στους Πίνακες 1.3 και 1.4 αντίστοιχα.

Πίνακας 1.3: Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας της α' λυκείου (Λιοδάκης και λοιποί συν., 2021α).

1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- 1.1 Με τι ασχολείται η χημεία
- 1.2 Γνωρίσματα της ύλης (μάζα, όγκος, πυκνότητα). Μετρήσεις και μονάδες
- 1.3 Δομικά σωματίδια της ύλης - Δομή ατόμου - Ατομικός αριθμός - Μαζικός αριθμός - Ισότοπα
- 1.4 Καταστάσεις της ύλης - Ιδιότητες της ύλης - Φυσικά και Χημικά φαινόμενα
- 1.5 Ταξινόμηση της ύλης - Διαλύματα - Περιεκτικότητες διαλυμάτων - Διαλυτότητα

2 ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ - ΔΕΣΜΟΙ

- 2.1 Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων
- 2.2 Κατάταξη των στοιχείων (Περιοδικός Πίνακας). Χρησιμότητα του περιοδικού πίνακα
- 2.3 Γενικά για το χημικό δεσμό - Παράγοντες που καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά του ατόμου. Είδη χημικών δεσμών (ιοντικός - ομοιοπολικός)
- 2.4 Η γλώσσα της χημείας - Αριθμός οξείδωσης - Γραφή χημικών τύπων και εισαγωγή στην ονοματολογία των ενώσεων

3 ΟΞΕΑ - ΒΑΣΕΙΣ - ΑΛΑΤΑ - ΟΞΕΙΔΙΑ

- 3.1 Θεωρία ηλεκτρολυτικής διάστασης
- 3.2 Οξέα και βάσεις
- 3.3 Οξείδια
- 3.4 Άλατα

3.5 Χημικές αντιδράσεις

3.6 Οξέα, βάσεις, οξείδια, άλατα, εξουδετέρωση και... καθημερινή ζωή

4 ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑ

4.1 Βασικές έννοιες για τους χημικούς υπολογισμούς: σχετική ατομική μάζα, σχετική μοριακή μάζα, mol, αριθμός Avogadro, γραμμομοριακός όγκος

4.2 Καταστατική εξίσωση των αερίων

4.3 Συγκέντρωση διαλύματος - Αραίωση, ανάμειξη διαλυμάτων

4.4 Στοιχειομετρικοί υπολογισμοί

5 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

5.1 Ραδιενεργός διάσπαση - Χρόνος υποδιπλασιασμού - Συνέπειες ραδιενέργειας για τον άνθρωπο - Πηγές ραδιενέργειας

5.2 Μερικές εφαρμογές ραδιοϊσοτόπων

5.3 Μεταστοιχειώσεις - Σχάση - Σύντηξη

Σχετικά με τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας α' λυκείου (Πίνακας 1.3) θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το κεφάλαιο 5 (πυρηνική χημεία) είναι εκτός διδακτέας ύλης. Όσον αφορά την έννοια του χημικού δεσμού, αυτή μελετάται στο κεφάλαιο 2 και συγκεκριμένα στην ενότητα 2.3. Στην ενότητα αυτή μελετώνται μόνο οι ενδομοριακοί δεσμοί (ιοντικός και ομοιοπολικός), ενώ γίνεται απλή αναφορά σε άλλους τύπους δεσμών, όπως ο μεταλλικός δεσμός και οι δεσμοί Van der Waals (διαμοριακοί δεσμοί). Αναφέρονται βασικές έννοιες όπως: ηλεκτρόνια σθένους, ατομική ακτίνα, κανόνας της οκτάδας, ηλεκτραρνητικότητα κ.ά. Δεν αναφέρονται έννοιες όπως η αρχή ελάχιστης ενέργειας ή η θεωρία δεσμού σθένους και η θεωρία των μοριακών τροχιακών. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το ίδιο ακριβώς βιβλίο διδάσκονται και οι μαθητές της α' λυκείου των επαγγελματικών λυκείων (ΕΠΑ.Λ). Η διαφορά είναι ότι η διδασκαλία της χημείας στα ΕΠΑ.Λ. γίνεται μόνο μια ώρα την εβδομάδα και η διδακτέα ύλη είναι λιγότερη συγκριτικά με αυτή των γενικών λυκείων. Το 2^ο κεφάλαιο όμως διδάσκεται και στα ΕΠΑ.Λ.

Πίνακας 1.4: Συνοπτική παρουσίαση των περιεχομένων του μαθήματος χημείας β' λυκείου (Λιοδάκης και συν., 2021β).

1. Γενικό μέρος οργανικής χημείας
2. Πετρέλαιο – Υδρογονάνθρακες
3. Αλκοόλες – Φαινόλες
4. Καρβοξυλικά Οξέα
5. Βιομόρια και άλλα μόρια

Όπως βλέπουμε στον Πίνακα 1.4, οι μαθητές της β' τάξεως των γενικών λυκείων διδάσκονται οργανική χημεία (εκτός της ενότητας 4.4: Στοιχειομετρικοί υπολογισμοί, που δεν είχε διδαχθεί στην α' λυκείου). Οι μαθητές έρχονται πάλι σε επαφή με την έννοια του χημικού δεσμού (κυρίως ενδομοριακού). Μελετούν τις ακόρεστες και κορεσμένες ενώσεις, τους απλούς, διπλούς και τριπλούς ομοιοπολικούς δεσμούς, τον αριθμό των δεσμών που μπορούν να δημιουργήσουν άτομα χημικών στοιχείων, όπως το υδρογόνο, το οξυγόνο, ο άνθρακας και το άζωτο. Τέλος να αναφέρουμε ότι στα επαγγελματικά λύκεια, όπως και στην α' λυκείου, οι μαθητές της β' λυκείου διδάσκονται το ίδιο βιβλίο με τους μαθητές του γενικού λυκείου. Για τους μαθητές των ΕΠΑ.Λ. το μάθημα της χημείας είναι και στη β' λυκείου μία ώρα την εβδομάδα, έτσι διαφοροποιείται και η διδακτέα ύλη, που είναι λιγότερη, σε σχέση με το γενικό λύκειο (διδάσκεται και ένα τμήμα της οργανικής χημείας στη γ' λυκείου).

Στη γ' λυκείου, του γενικού λυκείου, η χημεία διδάσκεται από το σχολικό έτος 2020-2021 έξι (6) ώρες την εβδομάδα. Είναι υποχρεωτικό μάθημα της ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών και σπουδών υγείας. Ουσιαστικά στο σχολικό βιβλίο της χημείας της γ' λυκείου έχει ενσωματωθεί το βιβλίο της β' λυκείου χημείας θετικής κατεύθυνσης. Η χημεία ως μάθημα θετικής κατεύθυνσης στη β' λυκείου έχει καταργηθεί. Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας γ' λυκείου παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.5.

Πίνακας 1.5: Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας της γ' λυκείου (Λιοδάκης και συν., 2021γ).

ΤΕΥΧΟΣ Α'	
1. ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ - ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ - ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
1.1 Διαμοριακές δυνάμεις - Μεταβολές φυσικών καταστάσεων - Νόμος μερικών πιέσεων	
1.2 Προσθετικές ιδιότητες διαλυμάτων	
ΤΕΥΧΟΣ Β'	
1. ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ	
1.1 Αριθμός οξείδωσης. Οξείδωση - Αναγωγή	
1.2 Κυριότερα οξειδωτικά σώματα - αναγωγικά σώματα. Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής	
1.3 Ηλεκτροχημεία. Αγωγοί ρεύματος. Ηλεκτρόλυση - Μηχανισμός - Εφαρμογές	
1.4 Νόμος ηλεκτρόλυσης. Νόμοι Faraday - Υπολογισμοί	
2. ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ	

2.1 Μεταβολή ενέργειας κατά τις χημικές μεταβολές, Ενδόθερμες – Εξώθερμες αντιδράσεις - Θερμότητα αντίδρασης ενθαλπία	
2.2 Θερμιδομετρία - Νόμοι θερμοχημείας	
3. ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ	
3.1 Γενικά για τη χημική κινητική και τη χημική αντίδραση – Ταχύτητα αντίδρασης	
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης. Καταλύτες	
3.3 Νόμος ταχύτητας - Μηχανισμός αντίδρασης	
3.4 Ένα πείραμα χημικής κινητικής μελέτης	
4. ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ	
4.1 Έννοια χημικής ισορροπίας - Απόδοση αντίδρασης	
4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση χημικής ισορροπίας - Αρχή Le Chatelier	
4.3 Σταθερά χημικής ισορροπίας: K _c -K _p	
5. ΟΞΕΑ - ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΙΟΝΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ	
5.1 Οξέα - Βάσεις	5.5 Ρυθμιστικά διαλύματα
5.2 Ιοντισμός οξέων – βάσεων	5.6 Δείκτες - ογκομέτρηση
5.3 Ιοντισμός οξέων - βάσεων και νερού – Ph	5.7 Γινόμενο διαλυτότητας
5.4 Επίδραση κοινού ιόντος	
6. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ	
6.1 Τροχιακό - Κβαντικοί αριθμοί	
6.2 Αρχές δόμησης πολυηλεκτρονικών ατόμων	
6.3 Δομή περιοδικού πίνακα (τομείς s, p, d, f) - Στοιχεία μετάπτωσης	
6.4 Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων	
6.5 Ηλεκτρονιακοί τύποι - Σχήματα μορίων	
7. ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ	
7.1 Δομή οργανικών ενώσεων -Διπλός και τριπλός δεσμός – Επαγωγικό φαινόμενο	
7.2 Στερεοϊσομέρεια (εναντιομέρεια και διαστερεομέρεια)	
7.3 Κατηγορίες οργανικών αντιδράσεων και μερικοί μηχανισμοί οργανικών αντιδράσεων	
7.4 Οργανικές συνθέσεις -Διακρίσεις	

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1.5, παρατηρούμε ότι χημικός δεσμός και πιο συγκεκριμένα οι διαμοριακοί χημικοί δεσμοί (Δεσμοί Van der Waals, Δεσμός Υδρογόνου) διδάσκονται στο α' τεύχος της χημείας γ' τάξης του γενικού λυκείου. Όσον αφορά το β' τεύχος της χημείας γ' λυκείου με το χημικό δεσμό είναι σχετικά τα κεφάλαια 6 και 7 του σχολικού εγχειριδίου. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 6 αναφέρεται ο δοτικός ή ημιπολικός δεσμός, ο «κανόνας της οκτάδας», οι ηλεκτρονιακοί τύποι κατά Lewis, η θεωρία VSEPR κ.ά. Στο κεφάλαιο 7 (οργανική

χημεία) αναφέρονται: η θεωρία δεσμού σθένους (VBT), οι δεσμοί «σ» και «π», η έννοια του υβριδισμού κ.ά. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι μαθητές διδάσκονται για πρώτη φορά στο λύκειο αρκετές από τις παραπάνω έννοιες.

Σχετικά τώρα με την χημεία στη γ' λυκείου των επαγγελματικών λυκείων διδάσκεται και αυτή, όπως και στην α' και β' τάξη, μία (1) την εβδομάδα. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η διδασκαλία ξεκινά με την οργανική χημεία της β' λυκείου και όταν ολοκληρωθεί η διδακτέα ύλη σε αυτό περνάμε σε ένα δεύτερο εγχειρίδιο χημείας το οποίο διδάσκεται μόνο στα ΕΠΑ.Λ. Το βιβλίο αυτό έχει τίτλο: «Χημεία και ζωντανοί οργανισμοί». Τα περιεχόμενά του βιβλίου αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6: Τα περιεχόμενα του μαθήματος της χημείας της γ' λυκείου γενικής παιδείας ΕΠΑ.Λ. (Γράψας & Πάγκαλος, 2021).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανάπτυξη και θεμελίωση της επιστήμης της Βιοχημείας

Ο ρόλος της Βιοχημείας στη ζωή μας

2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

2.1 Μοριακή οργάνωση των κυττάρων

2.2 Το νερό και η σημασία του

2.3 Μακρομόρια και άλλα βιομόρια

3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ – ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά του μεταβολισμού

3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των βιοχημικών αντιδράσεων

3.3 Ένζυμα – Οι βιολογικοί καταλύτες

Το σχολικό εγχειρίδιο «Χημεία και ζωντανοί οργανισμοί» είναι ένα μικρό σε μέγεθος βιβλίο το οποίο είναι γραμμένο με τρόπο απλό και κατανοητό. Παρόλα αυτά όμως, αν δούμε τα περιεχόμενά του, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.6, θα δούμε ότι περιέχονται σε αυτό έννοιες που έχουν άμεση σχέση με το χημικό δεσμό. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2 (Χημική σύσταση του κυττάρου) αναφέρονται τα εξής: το οξυγόνο έχει μεγάλη ηλεκτραρνητικότητα σε σχέση με το υδρογόνο, έλξη των κοινών ζευγών ηλεκτρονίων, ηλεκτρικό δίπολο, διπολική φύση, δεσμός υδρογόνου, ομοιοπολικός και ιοντικός δεσμός, δεσμός υδρογόνου μεταξύ των μορίων νερού και τρόπος συμβολισμού αυτού, πεπτιδικός δεσμός, γλυκοζιτικός δεσμός κ.ά. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πόσο σημαντικό είναι να κατανοήσουν οι μαθητές (από την α' τάξη του λυκείου) το χημικό δεσμό και τις έννοιες που συνδέονται με αυτόν. Σε

αντίθετη περίπτωση είναι πολύ δύσκολο για τον μαθητή να κατανοήσει το συγκεκριμένο κεφάλαιο, οπότε οδηγείται στη «μηχανική μάθηση».

1.9. Η παρούσα εργασία

Η παρούσα εργασία δομείται από επτά (7) συνολικά κεφάλαια:

1. Εισαγωγή: Ο χημικός δεσμός και ο ρόλος του στη χημική εκπαίδευση
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση: Δυσκολίες και παρανοήσεις στην κατανόηση εννοιών του χημικού δεσμού
3. Έρευνα διδακτικής παρέμβασης στο κεφάλαιο του χημικού δεσμού με μαθητές α' λυκείου
4. Η διδακτική μεταφορά στη διδασκαλία του χημικού δεσμού
5. Μεταγνωστικές ερωτήσεις
6. Οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών
7. Συμπεράσματα και διδακτικές προτάσεις

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2014 – 15 σε γενικό λύκειο επαρχιακής πόλης με μαθητές α' λυκείου. Τα τέσσερα (4) συνολικά τμήματα της α' τάξεως χωρίστηκαν σε τμήματα μεθοδολογίας και τμήματα ελέγχου. Στα δύο (2) τμήματα ελέγχου δεν πραγματοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση και διδάχθηκε ο χημικός δεσμός χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Στα άλλα δύο (2) τμήματα μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση και ακολουθήθηκε για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών ένα «διδακτικό υλικό». Το υλικό αυτό, αν και ενσωμάτωσε αρκετά στοιχεία από το σχολικό βιβλίο, διέφερε σε αρκετά σημεία από αυτό (περιείχε περισσότερες και επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με το σχολικό βιβλίο και η δομή / εμφάνισή του ήταν διαφορετική). Σε όλα τα τμήματα «ελέγχου» και «μεθοδολογίας» διδάχθηκαν οι ίδιες ερωτήσεις, ασκήσεις και προβλήματα, τα οποία περιέχονται στο σχολικό βιβλίο. Οι διδακτικές ώρες που αφιερώθηκαν για τη διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού ήταν σχεδόν οι ίδιες για όλα τα τμήματα. Αφού ο εκπαιδευτικός ολοκλήρωσε την διδασκαλία του ανεπηρέαστος, δόθηκαν

ερωτηματολόγια (τεστ) τα οποία συμπληρώθηκαν από τους μαθητές. Σκοποί των ερωτηματολογίων της έρευνας ήταν οι ακόλουθοι:

α) Να διερευνηθεί σε τι βαθμό οι μαθητές έχουν παρανοήσεις που σχετίζονται με τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό και

β) Ποια θα είναι η επίδραση του «διδασκτικού υλικού» που βασίστηκε στο σχολικό εγχειρίδιο χημείας στην παρεμπόδιση των παρανοήσεων στην περίπτωση των μαθητών που είχαν επιτύχει μέτριους έως υψηλούς βαθμούς στα ερωτηματολόγια της αξιολόγησης.

Το 4^ο κεφάλαιο αναφέρεται σε μια μελέτη η οποία συμπεριλάμβανε τα παρακάτω στάδια:

α. επιλογή δύο συγγραμμάτων και παρουσίαση μιας λίστας θεμάτων που σχετίζονται με το χημικό δεσμό και

β. μια συνολική οριζόντια ανάλυση των δύο παραπάνω συγγραμμάτων βάσει 17 συγκεκριμένων σημείων: Τη σειρά αναφοράς των ενδομοριακών δεσμών, το εάν και πώς αναφέρεται ο μεταλλικός δεσμός, το εάν αναφέρεται ή όχι ο ημιπολικός δεσμός, το εάν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών, τον τρόπο περιγραφής της ηλεκτραρνητικότητας και της πολικότητας των δεσμών, την αναφορά στον κανόνα της οκτάδας, το εάν παρουσιάζονται τα ενεργειακά διαγράμματα του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού, την αναφορά στην κρυσταλλική και στη μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα, την αναφορά στις δυνάμεις Coulomb, στην ηλεκτροστατική φύση, στα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων και στις δομές Lewis, την αναφορά στις ιδιότητες των ουσιών: ατομική ακτίνα, ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονιακή συγγένεια και ενέργεια πλέγματος, την αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους και τη θεωρία των μοριακών τροχιακών, την αναφορά στην έννοια του υβριδισμού (δημιουργία υβριδικών τροχιακών/ γωνίες δεσμών), την αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau), τον τρόπο περιγραφής του απλού, διπλού και τριπλού ομοιοπολικού δεσμού, την αναφορά και παρουσίαση των τροχιακών s, p, d, f, το εάν γίνεται αναφορά στη θεωρία VSEPR, το εάν παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των δεσμών «σ» και «π», το εάν παρουσιάζονται οι έννοιες της τάξης δεσμού και του συντονισμού σε ένα μόριο. Στη συνέχεια ακολούθησε,

γ. μια παρουσίαση τεσσάρων επιπλέον βιβλίων, από τα οποία παρουσιάστηκαν τα κεφάλαια που ήταν σχετικά με τους χημικούς δεσμούς και τέλος,

δ. μια συγκριτική ανάλυση/αντιπαραβολή των τεσσάρων αυτών βιβλίων με βάση τα 17 «σημεία» στα οποία αναφερθήκαμε και προηγουμένως.

Στο 5° κεφάλαιο παρουσιάζεται μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε τη σχολική χρονιά 2012–2013 από καθηγητές που δίδασκαν σε Γενικά Λύκεια δημοσίων σχολείων, τριών επαρχιακών πόλεων. Στην έρευνα συμμετείχαν μαθητές Α΄ Λυκείου και τα τμήματα χωρίστηκαν σε ομάδες «ελέγχου» και σε «πειραματικές» ομάδες. Στις ομάδες «ελέγχου» διδάχθηκε ο χημικός δεσμός χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας της ενότητας του χημικού δεσμού οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτηματολόγιο για το χημικό δεσμό. Επίσης το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 το ερωτηματολόγιο δόθηκε και σε πρωτοετείς φοιτητές δύο πανεπιστημιακών τμημάτων.

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται τα ευρήματα από τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές των **ομάδων «ελέγχου»** και οι πρωτοετείς φοιτητές δύο πανεπιστημιακών τμημάτων σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις αυτές αποτέλεσαν τμήμα της γραπτής δοκιμασίας (τεστ) για το χημικό δεσμό. Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών και των φοιτητών στις ερωτήσεις περιελάμβανε δύο στάδια: (i) μια γενική κατηγοριοποίηση των απαντήσεων και (ii) μία ειδική ταξινόμηση σύμφωνα με τις τέσσερις κατηγορίες της μεταγνώσης του Flavell. Να σημειώσουμε ότι η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών και των φοιτητών πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά διότι τα δύο αυτά δείγματα (των μαθητών και των φοιτητών) θεωρήθηκαν ως μη «ισοδύναμα». Στο τέλος πραγματοποιήθηκε και μια συγκριτική ανάλυση των πρωτοετών φοιτητών με τους μαθητές της Α΄ λυκείου.

Τέλος, στο 6° κεφάλαιο παρουσιάζεται μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2016-17 σε πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος επιλογής «Διδακτική Φυσικών Επιστημών». Στην τελική εξέταση, του Ιουνίου του 2017, οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν σε μια ερώτηση που συσχετιζόταν με την παρουσίαση ενός φύλλου, σε πάουερ-πόιντ, που περιείχε έγχρωμες στατικές χημικές δομές με τη μορφή επιφανειών ίσης πυκνότητας. Η ερώτηση ζητούσε από τους φοιτητές να πουν τη γνώμη τους σχετικά με αυτές τις οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) χημικών δομών. Οι απαντήσεις στην ερώτηση, που δόθηκαν από τους φοιτητές, βαθμολογήθηκαν ανεξάρτητα από δύο βαθμολογητές, χρησιμοποιώντας ένα προετοιμασμένο σχήμα βαθμολόγησης. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα ευρήματα από τις απαντήσεις που έδωσαν οι φοιτητές στη συγκεκριμένη ερώτηση και τελικά συζητήθηκαν οι απαντήσεις των φοιτητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ: ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ

2.1. Εισαγωγή

Η μάθηση είναι μια διαδικασία που θεωρείται ως αθροιστική, δηλαδή μια νέα πληροφορία προστίθεται σε αυτά που ήδη ο μαθητής γνωρίζει. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει, κατά τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών οι μαθητές φέρνουν μαζί τους στο μάθημα πολλές εναλλακτικές ιδέες/παρανοήσεις, που δεν είναι σε συμφωνία με τις επιστημονικές απόψεις, είναι δηλαδή επιστημονικά εσφαλμένες. (βλ. κεφάλαιο 1). Αυτές οι εναλλακτικές ιδέες μπορεί να παρεμποδίσουν την εκμάθηση των σωστών επιστημονικών αρχών ή εννοιών από τους μαθητές (Driver & Easley, 1978; Driver & Erickson, 1983; Flear, 1999; Palmer, 1999, 2001; Posner et al., 1982; Taber, 2000b). Σύμφωνα με τον Niaz (2001), οι παρανοήσεις των μαθητών αντιστέκονται σε οποιαδήποτε αλλαγή και είναι πολύ δύσκολο να αποβληθούν από αυτούς.

Η χημεία αναγνωρίζεται ως ένας από τους σημαντικότερους κλάδους της επιστήμης, θεωρείται όμως ως ένα δύσκολο μάθημα για τους μαθητές, τους εκπαιδευτικούς και τους ερευνητές (Özmen, 2004). Ο κλάδος της χημείας κυριαρχείται από τη χρήση μοντέλων. Οι χημικοί, όπως και άλλοι επιστήμονες, χρησιμοποιούν μοντέλα για να εξηγήσουν δεδομένα, να προβλέψουν επιστημονικά δεδομένα και να βοηθήσουν στην κατανόηση της χημικής δραστηριότητας (Fensham, 1975; Gilbert & Rutherford, 1998a, 1998b). Από φυσική άποψη, τα μοντέλα αυτά είναι αφηρημένα και ονομάζονται νοητικά μοντέλα. Οι αρχάριοι αντλούν έννοιες από άλλα μοντέλα όταν τα μοντέλα τους είναι ανεπαρκή για να δώσουν εξηγήσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο (Coll & Taylor, 2002).

Οι μαθητές ζουν και λειτουργούν στον μακροσκοπικό κόσμο της ύλης και δεν μπορούν εύκολα να παρατηρήσουν τις αλλαγές μεταξύ του μακροσκοπικού και του

υπομικροσκοπικού επιπέδου της χημείας (Coll & Treagust, 2003; Gabel, 1996; Harrison & Treagust, 2000; Johnstone, 1991; Luxford & Bretz, 2014; Robinson, 2003). Κατά συνέπεια, τείνουν να οικοδομήσουν εναλλακτικές αντιλήψεις και μη επιστημονικά νοητικά μοντέλα (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986; Taber & Coll, 2002). Σύμφωνα με τον Taber (2002), οι περισσότερες εναλλακτικές αντιλήψεις στη χημεία δεν προέρχονται από τις άτυπες εμπειρίες του εκπαιδευόμενου για τον κόσμο, αλλά από την προηγούμενη επιστημονική διδασκαλία. Οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, οι οποίες θεωρούνται ότι προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διδασκαλίας, έχουν χαρακτηριστεί ως παιδαγωγικά εμπόδια μάθησης (Taber, 2001a).

Για τη χημεία, ο χημικός δεσμός είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα που περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά ποικίλλουν από απλά αναλογικά μοντέλα έως περίπλοκα αφηρημένα μοντέλα, με σημαντική μαθηματική πολυπλοκότητα (Coll & Taylor, 2002; Coll & Treagust, 2003; Fensham, 1975). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι μαθητές δεν έχουν μια βαθιά εννοιολογική κατανόηση των βασικών εννοιών σχετικά με την έννοια του χημικού δεσμού και αποτυγχάνουν να ενσωματώσουν τα νοητικά τους μοντέλα σε ένα συνεκτικό εννοιολογικό πλαίσιο (Bodner & Domin, 1998; Griffiths & Preston 1992; Herron, 1996; Peterson & Treagust, 1989; Taber 2001). Οι μαθητές αναπτύσσουν την κατανόηση αυτών των μοντέλων και αντιλαμβάνονται μια ποικιλία αναπαραστάσεων για τους χημικούς δεσμούς. Επίσης ο χημικός δεσμός είναι ένα θέμα που οι μαθητές βρίσκουν «προβληματικό» και για το οποίο αναπτύσσουν ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών ιδεών – παρανοήσεων (Coll & Taylor, 2002). Οι Coll και Taylor (2002) υποστήριξαν ότι ο χημικός δεσμός μπορεί να ταξινομηθεί σε μια σειρά τριών συστημάτων-στόχων (target systems), δηλαδή, μεταλλικός, ιοντικός και ομοιοπολικός δεσμός και ως σειρά νοητικών μοντέλων που σχετίζονται με κάθε στόχο. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι «οι πολλοί τύποι δεσμών (μεταλλικός, ιοντικός, ομοιοπολικός, πολικός και μη πολικός δεσμός, διαμοριακός δεσμός) προκαλούν εννοιολογικές δυσκολίες και οδηγούν στο σχηματισμό πολλών παρανοήσεων» (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019, p.1). Επίσης, συχνά οι μαθητές νομίζουν ότι οι διαμοριακοί δεσμοί είναι ισχυρότεροι από τους ενδομοριακούς (Goh, Khoo & Chia, 1993; Peterson, Treagust & Garnett, 1989).

Το φάσμα των δυσκολιών και παρανοήσεων που εμφανίζουν οι μαθητές στην κατανόηση του χημικού δεσμού σχετίζεται με έννοιες που έχουν έναν κεντρικό ρόλο σε ένα μεγάλο τμήμα της χημείας. Μπορούμε να αναφέρουμε τις έννοιες του

ηλεκτρονίου, της ενέργειας ιοντισμού, της ηλεκτραρνητικότητας, της γεωμετρίας, της μοριακής δομής, της σταθερότητας κ.ά. (Nicoll, 2001). Πολλοί μαθητές πιστεύουν ότι ο σχηματισμός ομοιοπολικού δεσμού περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων (Coll & Taylor, 2001a, 2001b; Nicoll, 2001; Taber, 1997) ή ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων σθένους ταυτίζεται με τον αριθμό των ομοιοπολικών δεσμών (Coll & Taylor, 2001a, 2001b; Nicoll, 2001; Taber, 1997). Δεν μπορούν να εξηγήσουν τη σταθερότητα των χημικών ενώσεων υπό το πρίσμα της ενεργειακής σταθερότητας (Mortimer, Mol, & Duarte, 1994; Vrabec & Prokša, 2016).

Σύμφωνα με τον Talanquer (2007, 2013), κάτι που μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη ορισμένων παρανοήσεων είναι ότι οι μαθητές, όταν οικοδομούν τις εξηγήσεις τους σχετικά με τις χημικές ουσίες, τις αντιδράσεις και το χημικό δεσμό, αποτυγχάνουν να αναγνωρίσουν κορυφαίους αιτιολογικούς παράγοντες ή οποιοδήποτε άλλο τύπο αιτιολογικού μηχανισμού, και επιδεικνύουν μια γνωστική προκατάληψη προς τις τελεολογικές εξηγήσεις, όπως αυτές παρουσιάζονται στα σχολικά βιβλία και στη διδασκαλία, και τα οποία συχνά επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις διαδικασίες αξιολόγησης (Levy Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein, & Taber, 2010). Παρατηρώντας τη βιβλιογραφία θα δούμε ότι έχουν γίνει πολυάριθμες μελέτες που σχετίζονται με τις δυσκολίες και τις παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με χημικούς δεσμούς.

2.2. Κατηγορίες δυσκολιών και παρανοήσεων στους χημικούς δεσμούς

Μελετώντας την βιβλιογραφία, παρατηρούμε ότι έχουν γίνει πολλές έρευνες που σχετίζονται με τις δυσκολίες και τις παρανοήσεις στην έννοια του χημικού δεσμού. Επίσης οι δυσκολίες και οι παρανοήσεις που εντοπίζονται στο συγκεκριμένο θέμα είναι πολλές. Έγινε μια ταξινόμηση των δυσκολιών και των παρανοήσεων (ανάλογα με την έρευνα) σε τρεις κατηγορίες:

- α. Γενικές δυσκολίες και παρανοήσεις [σχετίζονται με τους χημικούς δεσμούς (ιοντικό, ομοιοπολικό, μεταλλικό), τους διαμοριακούς δεσμούς κ.ά.]
- β. Ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις (κανόνας της οκτάδας, δομές Lewis, ηλεκτραρνητικότητα, δεσμός υδρογόνου, πολικότητα, θεωρία δεσμού σθένους κ.ά.)
- γ. Γενικές - ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις.

2.2.1. Γενικές δυσκολίες και παρανοήσεις

Ο Taber (1997) πραγματοποίησε μια έρευνα με 370 μαθητές με σκοπό να διερευνήσει εάν ορισμένες «εναλλακτικές αντιλήψεις» που σχετίζονται με τον ιοντικό δεσμό ήταν ευρέως διαδεδομένες. Η έρευνα ακολούθησε μια συνέντευξη που πραγματοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο. Για την πραγματοποίηση της έρευνας κατασκευάστηκε ένα μοντέλο, που ονομάστηκε «μοριακό πλαίσιο», το οποίο περιλαμβάνει πτυχές των εναλλακτικών αντιλήψεων για την κατανόηση των ιοντικών δεσμών. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για να σχεδιαστεί ένα απλό εργαλείο έρευνας. Το εργαλείο αυτό δόθηκε σε μαθητές που σπούδαζαν στο Βασικό Επίπεδο 4 (επίπεδο G.C.S.E.) του Εθνικού Προγράμματος Σπουδών του Ηνωμένου Βασιλείου στις φυσικές επιστήμες και σε μαθητές χημείας προχωρημένου επιπέδου (A level). Οι απαντήσεις υποδηλώνουν ότι πολλοί από αυτούς τους μαθητές έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με τον ιοντικό δεσμό. Πολλοί μαθητές δίνουν μεγάλη έμφαση στη διαδικασία της μεταφοράς ηλεκτρονίων, θεωρώντας ότι οι ιοντικές ενώσεις αποτελούνται από μόρια, εκτιμούν λάθος τους αριθμούς οξείδωσης, ενώ δεν αναγνωρίζουν τις ισοδύναμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ιόντων.

Οι Birk και Kurtz (1999) σχεδίασαν ένα τεστ με σκοπό να αποκαλυφθούν λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τη μοριακή δομή και τους χημικούς δεσμούς. Το τεστ αυτό χορηγήθηκε σε μαθητές λυκείου έως και μεταπτυχιακούς φοιτητές. Δόθηκε επίσης και σε διδακτικό προσωπικό ενός κολεγίου. Η μελέτη αυτή παρακολούθησε την εξαφάνιση αυτών των παρανοήσεων μέσα σε ένα χρονικό διάστημα 10 ετών, μαζί με την ανάπτυξη αποδεκτών αντιλήψεων.

Οι Othman και συν. (2008) σε μια μελέτη τους χρησιμοποίησαν ένα διαγνωστικό εργαλείο πολλαπλών επιλογών δύο επιπέδων που αποτελείται από δέκα στοιχεία. Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε για να αξιολογηθεί η κατανόηση των μαθητών σχετικά με τη σωματιδιακή φύση της ύλης και τους χημικούς δεσμούς, έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανές συσχετίσεις της κατανόησης των μαθητών μεταξύ αυτών των δύο εννοιών. Το εργαλείο αυτό χορηγήθηκε σε 260 μαθητές (15–16 ετών) σε ένα σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη Σιγκαπούρη. Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών αποκάλυψε αρκετές εναλλακτικές αντιλήψεις για τις δύο αυτές έννοιες και ότι η περιορισμένη κατανόηση της σωματιδιακής φύσης της ύλης από τους μαθητές επηρέασε την κατανόησή τους για τους χημικούς δεσμούς. Τα ευρήματα παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την αμφισβήτηση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη σωματιδιακή φύση της ύλης κατά τη

διάρκεια της διδασκαλίας στην τάξη, προκειμένου να μπορέσουν να κατανοήσουν καλύτερα τους χημικούς δεσμούς.

Οι Taber και συν. (2012) χρησιμοποίησαν ένα διαγνωστικό εργαλείο, που είχε χρησιμοποιηθεί προηγουμένως στην Αγγλία (Taber, 1994, 1997, 1998), προκειμένου να «αντλήσει» τις αντιλήψεις σχετικά με το χημικό δεσμό στο NaCl (που χρησιμοποιείται συνήθως ως το διδακτικό παράδειγμα μιας ιοντικής ένωσης) από δύο δείγματα φοιτητών που παρακολουθούσαν μαθήματα σε πανεπιστημιακά ιδρύματα στην Ελλάδα και στην Τουρκία. Η μελέτη σε αυτά τα δύο εθνικά πλαίσια έδειξε ότι οι μαθητές παρουσίασαν διατυπώσεις που βασίζονται στο εναλλακτικό «μοριακό» εννοιολογικό πλαίσιο για τη σκέψη σχετικά με τον ιοντικό δεσμό (όπως προσδιορίζεται στο αγγλικό πλαίσιο), ενισχύοντας την άποψη για μια αποτελεσματική διδασκαλία αφηρημένων μοντέλων χημείας σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Το «μοριακό» εννοιολογικό πλαίσιο αποτελεί μια παρανόηση σύμφωνα με την οποία στον ιοντικό δεσμό τα ιόντα συνδέονται μόνο ανά ζεύγη και σχηματίζουν μόρια. Η μελέτη επαναλήφθηκε αργότερα στην Κροατία (Vladusic et al., 2016) και τα ευρήματα ήταν παρόμοια με των προηγούμενων ερευνών.

Οι Bergqvist και συν. (2013) ανέλυσαν μοντέλα χημικών δεσμών που παρουσιάζονται σε πέντε σχολικά βιβλία χημείας στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη Σουηδία και διερεύνησαν θέματα στα σχολικά βιβλία που σχετίζονται με εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και δυσκολίες στην κατανόηση των χημικών δεσμών. Οι συγγραφείς παρέθεσαν παραδείγματα εναλλακτικών αντιλήψεων και δυσκολιών που είχαν οι μαθητές στην κατανόηση των διαφορετικών τύπων χημικών δεσμών, όπως αυτά έχουν αναφερθεί στην ερευνητική βιβλιογραφία, ακολουθούμενα από πιθανές πηγές αυτών των δυσκολιών σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Τα ευρήματα έδειξαν ότι τα μοντέλα χημικού δεσμού που παρουσιάζονται στα σχολικά εγχειρίδια είναι πιθανό να αποτελούν αιτία εναλλακτικών αντιλήψεων και δυσκολιών κατανόησης των μαθητών, κάτι που ταιριάζει με τα ευρήματα άλλων πρόσφατων μελετών. Ως εκ τούτου, πρότειναν ότι υπήρχε ανάγκη να καλυφθεί το χάσμα μεταξύ των συγγραφέων σχολικών βιβλίων και της τρέχουσας εκπαιδευτικής έρευνας.

Οι Luxford και Bretz (2013) σε ερευνά τους μελέτησαν τις περιγραφές που έδωσαν οι μαθητές για τους ιοντικούς και τους ομοιοπολικούς δεσμούς (εκτός από τους ορισμούς τους). Σκοπός ήταν η διερεύνηση της γνώσης των μαθητών σχετικά με τους χημικούς δεσμούς. Χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο αναπαράστασης πολλαπλών

επιπέδων του Johnstone και σχεδιάστηκε μια διαδραστική συνέντευξη για να μελετηθούν οι αντιλήψεις για το χημικό δεσμό μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και πρωτοετών φοιτητών. Η ανάλυση των μοντέλων που δημιουργήθηκαν από τους μαθητές αλλά και οι συνοδευτικές επεξηγήσεις που αυτοί έδωσαν οδήγησαν στο συμπέρασμα πως, παρόλο που οι μαθητές μπορούσαν να διατυπώσουν ορισμούς σχετικούς με τον ομοιοπολικό και των ιοντικό δεσμό, εμφάνισαν πολλαπλές παρανοήσεις σχετικά με τους δεσμούς αυτούς.

2.2.2. Ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις

Οι Peterson και Treagust (1989) χρησιμοποίησαν ένα διαγνωστικό εργαλείο (πολλαπλής επιλογής με μολύβι και χαρτί) για τη μέτρηση της κατανόησης από τους μαθητές εννοιών που σχετίζονται με τον ομοιοπολικό δεσμό και τις διάφορες δομές. Το διαγνωστικό εργαλείο δόθηκε σε 84 μαθητές της γ' λυκείου και η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδωσε στοιχεία για ορισμένες κοινώς διαδεδομένες παρανοήσεις. Οι παρανοήσεις αυτές εντάχθηκαν σε πέντε (5) ευρύτερες κατηγορίες ως εξής: πολικότητα δεσμού, σχήμα μορίων, πολικότητα μορίων, διαμοριακές δυνάμεις και κανόνας οκτάδας.

Οι Peterson και συν. (1989) ανέπτυξαν ένα γραπτό διαγνωστικό εργαλείο για τον εντοπισμό των παρανοήσεων των μαθητών της 11ης και 12ης βαθμίδας (β' και γ' λυκείου) σχετικά με τον ομοιοπολικό δεσμό και τη χημική δομή. Μέσω συνεντεύξεων, ερωτήσεων ελεύθερης απάντησης και εννοιολογικών χαρτών, που σχεδιάστηκαν από μαθητές, προσδιορίστηκε ο βαθμός κατανόησης του θέματος από τους μαθητές. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση της γνώσης περιεχομένου και την κατανόηση αυτής της γνώσης σε έξι εννοιολογικούς τομείς: πολικότητα δεσμού, μοριακό σχήμα, πολικότητα μορίων, κρυσταλλικά πλέγματα, διαμοριακές δυνάμεις και κανόνας της οκτάδας. Το διαγνωστικό εργαλείο χορηγήθηκε σε 243 μαθητές.

Οι Coll και Taylor (2001) εξέτασαν τις περιγραφές νοητικών μοντέλων για χημικούς δεσμούς, που έδωσαν μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και φοιτητές χημείας της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, και αποκάλυψαν διάφορες παρανοήσεις σχετικά με τους χημικούς δεσμούς. Η έρευνα βρήκε έναν εκπληκτικό αριθμό εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με απλές ιδέες όπως το μέγεθος και το σχήμα των ιόντων. Αποκαλύφθηκαν περίπου 20 παρανοήσεις, με πιο συνηθισμένη παρανόηση ότι τα συνεχή ιοντικά ή μεταλλικά πλέγματα ήταν μοριακής φύσεως και τη σύγχυση

σχετικά με το μέγεθος και το φορτίο ενός ιόντος. Σύμφωνα με τους Coll και Taylor (2001), επίδραση στη διαμόρφωση εναλλακτικών αντιλήψεων μπορούν να έχουν τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών, ενώ οι καθηγητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης ίσως πρέπει περιορίσουν τη διδασκαλία ορισμένων αφηρημένων μοντέλων για τους χημικούς δεσμούς σε νέους προπτυχιακούς φοιτητές.

Οι Coll και Treagust (2003) διερεύνησαν τα νοητικά μοντέλα των χημικών δεσμών σε ιοντικές ουσίες σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια συνέντευξη που περιλάμβανε τη χρήση μιας κάρτας εστίασης που περιείχε απεικονίσεις ιοντικού δεσμού. Οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης θεώρησαν τον ιοντικό δεσμό ως το αποτέλεσμα της έλξης αντίθετα φορτισμένων ειδών που προκύπτουν από τη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των ατόμων, με σκοπό να αποκτήσουν μια οκτάδα ηλεκτρονίων. Οι προπτυχιακοί φοιτητές αντιλήφθηκαν τη δομή του κρυσταλλικού πλέγματος ως βασικό συστατικό των ιοντικών ουσιών και γρήγορα αναγνώρισαν συγκεκριμένα ιοντικά πλέγματα. Οι απόφοιτοι επίσης αναγνώρισαν τα ιοντικά πλέγματα ως βασικό συστατικό των ιοντικών ουσιών, επικεντρώθηκαν όμως λιγότερο σε συγκεκριμένες ιοντικές δομές και είχαν συνειδητοποιήσει καλύτερα την έννοια της συνέχειας μεταξύ του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού. Σύμφωνα με τους Coll και Treagust (2003), τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι οι μαθητές σε όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες έχουν μια σειρά από εναλλακτικές αντιλήψεις και προτιμούν να χρησιμοποιούν απλά νοητικά μοντέλα.

Σε έρευνά τους οι Levy και συν. (2007) εξέτασαν τις επιδόσεις των μαθητών στη χημεία με βάση μια υψηλού επιπέδου εξέταση, τις εισαγωγικές εξετάσεις στο Ισραήλ για την εισαγωγή στη πανεπιστήμιο (Matriculation Examination, ME). Οι ερωτήσεις με τίτλο «χημικός δεσμός και δομή» που παρέχονταν κάθε χρόνο ήταν πολύ παρόμοιες. Αυτές οι ερωτήσεις αναλύθηκαν, όπως και οι απαντήσεις των μαθητών. Αναλύσεις δεκατεσσάρων ετών αποκάλυψαν ότι οι μαθητές έχουν μια ποικιλία παρανοήσεων σχετικά με την έννοια του χημικού δεσμού. Παρόλο που υπήρξε μια σοβαρή προσπάθεια να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, η ίδια κρίσιμη παρανόηση σχετικά με την έννοια των δεσμών δημιουργούνταν κάθε χρόνο. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αναπτύξει ένα περίγραμμα για μια νέα προσέγγιση διδασκαλίας για τη χημεία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, προκειμένου να βελτιωθεί η κατανόηση της έννοιας του χημικού δεσμού. Έτσι σχεδιάστηκε μια συνεργατική εργασία με διάφορους συμμετέχοντες: επικεφαλής καθηγητές χημείας, ερευνητές

στον τομέα της διδασκαλίας χημείας, σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών χημείας και πιο έμπειρους χημικούς. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι και δραστηριότητες, όπως ένα επιστημονικό συμπόσιο, μια ομάδα εστίασης και λεπτομερείς συνεντεύξεις, με σκοπό να απαντηθούν οι ερευνητικές ερωτήσεις. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν διάφορες δραστηριότητες και εργαλεία για τη συλλογή σχετικών και αξιόπιστων δεδομένων. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε μια συγκεκριμένη πηγή δεδομένων με βάση 14 χρόνια αναλύσεων της ΜΕ. Τα κύρια σημεία τα οποία θεωρήθηκαν ως «προβληματικά», όσον αφορά την παραδοσιακή προσέγγιση, είναι τα εξής:

1. Διχοτομική ταξινόμηση (ιοντικός / ομοιοπολικός δεσμός), έλλειψη εξηγήσεων σχετικά με τη θεμελιώδη φύση των χημικών δεσμών, έμφαση στους ορισμούς και χρήση υπεργενικεύσεων.
2. Στο δεσμό υδρογόνου γίνεται χρήση του απόλυτου ορισμού: «Είναι πάντα διαμοριακός και πρέπει να περιλαμβάνει ένα από τα άτομα N, O, F».
3. Όλα τα μέταλλα έχουν την ίδια ηλεκτρονική δομή και «υπακούουν» σε μια συγκεκριμένη λίστα ιδιοτήτων. Ο χημικός δεσμός στα μέταλλα παρουσιάζεται ως διαφορετική οντότητα - ο «μεταλλικός» δεσμός.
4. Οι ερωτήσεις βασίζονται στην απομνημόνευση και δεν είναι πάντα ευθυγραμμισμένες με τις απόψεις της επιστήμης που μελετάται σήμερα. Δεν προάγεται έτσι ο επιστημονικός τρόπος σκέψης.

Οι Unal, Costu και Ayas (2010) σε μια έρευνά τους χρησιμοποίησαν για τη συλλογή δεδομένων ενός τεστ που περιελάμβανε τέσσερις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και ημιδομημένες συνεντεύξεις. Στόχος αυτής της μελέτης ήταν να διερευνήσει την κατανόηση των μαθητών της ενδέκατης τάξης (β' λυκείου) σχετικά με τον ομοιοπολικό δεσμό, καθώς και τις πιθανές παρανοήσεις στο συγκεκριμένο θέμα. Το τεστ που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη χορηγήθηκε σε 58 μαθητές της ενδέκατης τάξης σε δημόσιο λύκειο. Πήραν επίσης συνεντεύξεις από 10 μαθητές που επιλέχθηκαν τυχαία από το δείγμα. Οι ερωτήσεις του τεστ όσο και οι ερωτήσεις της συνέντευξης ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές είχαν πολλές λανθασμένες αντιλήψεις. Πιο συγκεκριμένα, οι παρανοήσεις των μαθητών συσχετιζόνταν με τους τύπους ή τις ιδιότητες των ατόμων που σχηματίζουν έναν ομοιοπολικό δεσμό, στο πώς σχηματίζεται ο ομοιοπολικός δεσμός, στους τύπους των ομοιοπολικών δεσμών και τα χαρακτηριστικά των γιγαντιαίων ομοιοπολικών δομών.

Οι Yagon και συν. (2012) ανέπτυξαν και δοκίμασαν έναν πίνακα, που αποτελούνταν από νήματα, με σκοπό να αναπαραστήσει: (α) μια συστηματική οργάνωση της εννοιολογικής γνώσης για τους χημικούς δεσμούς που απαιτείται σε επίπεδο λυκείου και (β) ένα εργαλείο για την αναπαράσταση της εννοιολογικής γνώσης των μαθητών σχετικά με αυτό το θέμα. Χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία, οι εννοιολογικές γνώσεις των μαθητών για τους χημικούς δεσμούς αξιολογήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν, δημιουργώντας γραφικές αναπαραστάσεις της γνώσης τους. Ο πίνακας περιείχε τρία νήματα: i) τη δομή της ύλης σε νανοσκοπικό επίπεδο, ii) τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ φορτισμένων οντοτήτων και iii) τις ενεργειακές πτυχές που συσχετίζονται με το χημικό δεσμό. Κάθε νήμα αποτελούνταν από κελιά, τοποθετημένα ακολουθώντας μια ιεραρχική διάταξη, που περιέχουν στοιχεία λεπτού διαμερισμού της γνώσης: το ελεύθερο (μη χημικά δεσμευμένο) άτομο, ένας δεσμός μεταξύ δύο ατόμων, ένα απλό μόριο, πολλοί δεσμοί ίδιου τύπου (κρυσταλλικό πλέγμα), πολλοί δεσμοί διαφορετικών τύπων, καταστάσεις της ύλης, γενική εικόνα.

Οι Hazzi και Dumon (2014) εξέτασαν σε ποιο βαθμό οι Αλγερινοί προπτυχιακοί φοιτητές ήταν σε θέση να ενσωματώσουν τα μοντέλα Lewis και τα κβαντικά μοντέλα ατόμων και μορίων. Η ανάλυση των απαντήσεων σε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο έδειξε ότι οι φοιτητές δεν ήταν σε θέση να περιγράψουν σωστά τους ομοιοπολικούς δεσμούς σε μια δομή Lewis, χρησιμοποιώντας τις έννοιες του κβαντικού μοντέλου. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι αντιλήψεις των μαθητών για ατομικά ή υβριδικά τροχιακά λειτουργούσαν ως παιδαγωγικό εμπόδιο στη μάθηση. Έτσι οι μαθητές χρησιμοποιούσαν το «πλαίσιο» του ζεύγους ηλεκτρονίων, το οποίο βασίζεται στη χρήση του μοντέλου του Lewis, όπου τα ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων των στοιχείων πρέπει να δημιουργούν ένα, δύο ή τρία κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων, έτσι ώστε να σχηματισθούν ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων. Επιπλέον, οι μαθητές πίστευαν ότι ένας ομοιοπολικός δεσμός προκύπτει από την κοινή χρήση ενός ηλεκτρονίου (που ανήκει είτε τροχιακό s, είτε σε τροχιακό p, αλλά όχι σε κάποιο υβριδικό τροχιακό του τύπου sp^n) από κάθε άτομο για να δώσει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων. Ακόμη θεώρησαν ότι ο δεσμός σ βρίσκεται μόνο σε απλούς δεσμούς (αλλά όχι σε διπλούς ή τριπλούς δεσμούς).

Οι Luxford και Bretz (2014) διεξήγαγαν συνεντεύξεις με 28 μαθητές φυσικών επιστημών και χημείας λυκείου και με φοιτητές γενικής χημείας. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί η κατανόηση και οι λανθασμένες αντιλήψεις που σχετίζονται με τις

αναπαραστάσεις του ομοιοπολικού και του ιοντικού δεσμού. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση πολλαπλών αναπαραστάσεων, οι οποίες δημιουργήθηκαν από μαθητές και ειδικούς με σκοπό να συνδέσουν έννοιες χημικού δεσμού όπως: οι δομές Lewis, οι τύποι, τα μοντέλα πλήρωσης χώρου και τρισδιάστατα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται ως βοηθήματα διδασκαλίας. Εντοπίστηκαν λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τέσσερα θέματα: (i) περιοδικά χαρακτηριστικά, (ii) ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, (iii) κανόνας της οκτάδας και (iv) χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αναπαραστάσεις (για παράδειγμα, οι γραμμές που συμβολίζουν δεσμούς ή η απόσταση των κουκκίδων μεταξύ των ατόμων που υποδηλώνει ισοδύναμο μοίρασμα ηλεκτρονίων). Επιπλέον, δημιουργήθηκε ένας εννοιολογικός κατάλογος, ο κατάλογος αναπαραστάσεων δεσμού (Bonding Representations Inventory, BRI). Ο κατάλογος αυτός είχε στόχο να ποσοτικοποιήσει τη συχνότητα αυτών των παρανοήσεων. Ο BRI χορηγήθηκε σε 1072 μαθητές χημείας λυκείου, προχωρημένους μαθητές χημείας και φοιτητές γενικής χημείας στις Ηνωμένες Πολιτείες και καθορίστηκαν η εγκυρότητα περιεχομένου, η παράλληλη εγκυρότητα και η αξιοπιστία του εργαλείου. Μετέπειτα, ο BRI δοκιμάστηκε με επιτυχία στο εκπαιδευτικό σύστημα της Σλοβακίας, όπου εντοπίστηκαν λανθασμένες αντιλήψεις και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά των ΗΠΑ (Vrabec & Proksa, 2016).

Οι Burrows και Reid Mooring (2015) χρησιμοποίησαν τη χαρτογράφηση εννοιών και τις προφορικές συνεντεύξεις για να αποκαλύψουν τις γνωστικές δομές των προπτυχιακών φοιτητών οργανικής χημείας σχετικά με τις έννοιες χημικών δεσμών. Εντόπισαν αρκετές κοινές παρανοήσεις σχετικά με την ηλεκτραρνητικότητα και τους πολικούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Οι μαθητές οι οποίοι είχαν χαμηλές βαθμολογίες εννοιολογικού χάρτη είχαν μικρότερη κατανόηση της ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των μαθητών σε σχέση με τους μαθητές με τις υψηλές βαθμολογίες. Αρκετές παρανοήσεις σχετικά με την ηλεκτραρνητικότητα παρατηρήθηκαν και κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Επιπλέον, η έλλειψη κατανόησης της ηλεκτραρνητικότητας οδήγησε και σε παρανόηση του πολικού ομοιοπολικού δεσμού.

Οι Cheng και Oon (2016) ανέπτυξαν ένα εργαλείο και πραγματοποίησαν μια πολύ μεγάλη έρευνα με 3.600 μαθητές ($n = 3006$) ηλικίας 10-12 ετών σχετικά με την κατανόηση των μεταλλικών δεσμών. Το εργαλείο αυτό διερεύνησε την κατανόηση των μεταλλικών δεσμών από τους μαθητές ως: α. μια υπομικροδομή των μετάλλων, β. μια διεργασία κατά την οποία μεμονωμένα άτομα μετάλλου χάνουν τα ηλεκτρόνια

της εξωτερικής στοιβάδας τους για να σχηματίσουν μια «θάλασσα ηλεκτρονίων» και κατιόντα μετάλλων με οκτώ ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα και γ. μια ηλεκτροστατική δύναμη που ασκείται προς όλες τις κατευθύνσεις μεταξύ μη εντοπισμένων ηλεκτρονίων και μεταλλικών κατιόντων. Σύμφωνα με τα ευρήματα, η κατανόηση της δομής, της διαδικασίας και της αλληλεπίδρασης ήταν «μονοδιάστατη» και σε αυξανόμενη διάταξη δυσκολίας. Το εργαλείο αξιολόγησε επίσης τις εξηγήσεις των μαθητών για την ελατότητα των μετάλλων.

Οι Nimmermark και συν. (2016) διεξήγαγαν μια μεγάλη μελέτη με σχεδόν 700 Σουηδούς και Νοτιοαφρικανούς μαθητές από την ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και τα πρώτα έτη πανεπιστημιακών τμημάτων και ανέφεραν ότι μόνο το 20% περίπου των μαθητών είχαν ξεκάθαρη κατανόηση της έννοιας της ενέργειας δεσμού όταν έφτασαν στο πανεπιστήμιο. Παρατηρήθηκε σύγχυση μεταξύ του σχηματισμού και της διάσπασης ενός δεσμού με εξώθερμες ή ενδόθερμες διαδικασίες. Επίσης, η υπερβολική χρήση μοντέλων σφαίρας και ραβδιού μπορεί να δυσκολέψει τους μαθητές στο να οπτικοποιήσουν το σωστό σχήμα των μορίων. Οι μαθητές που είχαν συναντήσει το μοντέλο VSEPR στο λύκειο είχαν γενικά μια καλύτερη κατανόηση των μοριακών σχημάτων. Αναφέρθηκε επίσης ότι η κατανόηση του κβαντομηχανικού μοντέλου των δεσμών βοήθησε σημαντικά τους προπτυχιακούς φοιτητές.

Οι Uyulgan και Akkuzu (2016) διερεύνησαν τα εννοιολογικά επίπεδα κατανόησης και τις λανθασμένες αντιλήψεις που έχουν οι φοιτητές σχετικά με το θέμα των μοριακών δομών. Για να κατανοήσουν τις μοριακές δομές και τα χαρακτηριστικά τους, οι φοιτητές θα πρέπει να έχουν κατανοήσει έννοιες όπως: οι δομές Lewis, η μοριακή γεωμετρία, η πολικότητα δεσμού, η μοριακή πολικότητα, ο συντονισμός και ο υβριδισμός. Στην έρευνα συμμετείχαν 88 προπτυχιακοί φοιτητές που εγγράφηκαν στο τμήμα μαθηματικών και διδακτικής, της σχολής επιστημών αγωγής στην Τουρκία. Οι συμμετέχοντες απάντησαν σε ερωτήσεις ανοικτού τύπου και έδωσαν και μια συνέντευξη. Οι απαντήσεις των φοιτητών αναλύθηκαν και καθορίστηκαν τα επίπεδα της εννοιολογικής τους κατανόησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φοιτητές είχαν παρανοήσεις σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα. Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε τις περιορισμένες γνώσεις σχετικά με έννοιες όπως: η μοριακή γεωμετρία, η πολικότητα μορίου, ο συντονισμός και ο υβριδισμός σε μοριακές δομές, εκτός από τις δομές Lewis.

Οι Ballester και συν. (2017) διερεύνησαν την κατανόηση των χημικών δεσμών από τους Ισπανούς μαθητές και τις εσφαλμένες αντιλήψεις που σχετίζονται με τους χημικούς δεσμούς. Οι μαθητές προέρχονταν από σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και από πανεπιστημιακές σχολές (ήταν πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων χημείας και φαρμακευτικής). Το ερευνητικό μέσο ήταν ένα ερωτηματολόγιο με 15 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και δόθηκε σε 79 μαθητές σχολείων και σε 99 πρωτοετείς φοιτητές. Τα θέματα που μελετήθηκαν συσχετίζονταν με την ερμηνεία ορισμένων ιδιοτήτων ουσιών (π.χ. χρώμα, σημείο βρασμού κ.ά.), ενδομοριακές και διαμοριακές δυνάμεις, δεσμός υδρογόνου, γεωμετρία και πολικότητα μορίων. Οι κύριες παρανοήσεις που παρατηρήθηκαν ήταν: η απόδοση μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα σωματίδια, λάθος πρόβλεψη για τα σημεία βρασμού διαφόρων ουσιών, οι ιοντικές ενώσεις έχουν ως δομικά σωματίδια τα μόρια, εσφαλμένη εντύπωση για τη φύση του δεσμού υδρογόνου και η υπόθεση ότι υπάρχει σε οποιοδήποτε μόριο που περιέχει υδρογόνο μαζί με άζωτο, οξυγόνο ή φθόριο (ανεξάρτητα από το αν το άτομο υδρογόνου είναι άμεσα συνδεδεμένο με αυτά τα άτομα ή όχι), σύγχυση σχετικά με τη γεωμετρία ενός μορίου, με την κατανομή των ζευγών ηλεκτρονίων γύρω από το κεντρικό άτομο και εσφαλμένη πρόβλεψη της πολικότητας ενός μορίου.

Οι Şen και Yilmaz (2017) ανέπτυξαν ένα τεστ εννοιών τριών επιπέδων για να προσδιορίσουν εσφαλμένες αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τους χημικούς δεσμούς. Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 175 μαθητές λυκείου. Πριν από την διεξαγωγή του τεστ ελήφθη η γνώμη εμπειρογνώμονα και κατόπιν εφαρμόστηκε πιλοτική μελέτη με 25 μαθητές λυκείου (όπου και έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο τεστ). Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα τεστ τριών επιπέδων με 15 ερωτήσεις. Το πρώτο επίπεδο του τεστ είχε στόχο να εξακριβώσει τις γνώσεις των μαθητών στους χημικούς δεσμούς. Το δεύτερο επίπεδο αφορούσε τις αιτιολογήσεις στις απαντήσεις των ερωτήσεων από τους μαθητές. Στο τρίτο επίπεδο του τεστ, οι μαθητές ρωτήθηκαν εάν ήταν σίγουροι για τις απαντήσεις τους στα δύο πρώτα επίπεδα. Οι παρανοήσεις που εντοπίστηκαν ήταν οι εξής: 1. Οι φυσικές μεταβολές επηρεάζουν τους ενδομοριακούς δεσμούς, 2. οι ενώσεις που περιέχουν δεσμούς υδρογόνου βρίσκονται σε υγρή κατάσταση, 3. τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το ένα άτομο στο άλλο κατά το σχηματισμό των μεταλλικών δεσμών, όπου τα άτομα μπορούν να μοιράζονται ηλεκτρόνια, 4. ο ιοντικός δεσμός είναι ένας διαμοριακός δεσμός, 5. η πολικότητα καθορίζεται από το ηλεκτρονιακό ζεύγος, 6. σε όλους τους

ομοιοπολικούς δεσμούς, τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων ισαπέχουν από τα άτομα που συνδέονται, 7. το αν ένα μόριο θα είναι πολικό ή όχι δεν εξαρτάται από την πολικότητα των δεσμών σε αυτό το μόριο και από το σχήμα του μορίου, 8. Οι διαμοριακοί δεσμοί είναι οι δυνάμεις που υπάρχουν μόνο σε ομοιοπολικές ενώσεις, 9. για τη δημιουργία ενός χημικού δεσμού απαιτείται ενέργεια, 10. η θερμότητα και η πίεση μεταβάλλουν τις γωνίες και τον αριθμό των δεσμών, 11. οι δυνάμεις London και οι δεσμοί υδρογόνου εμφανίζονται μόνο μεταξύ πολικών μορίων, 12. τα μη δεσμικά ζεύγη ηλεκτρονίων δεν επηρεάζουν τη γεωμετρία του μορίου, 13. οι δυνάμεις London δεν είναι πραγματικοί δεσμοί, και 14. οι δυνάμεις London είναι τόσο διαμοριακές όσο και ενδομοριακές.

Οι Septyadi και συν. (2017) ανέλυσαν ορισμένες παρανοήσεις που μπορεί να προκύψουν λόγω των μαθησιακών στρατηγικών και του περιεχομένου των σχολικών βιβλίων. Για παράδειγμα, ορισμένοι εκπαιδευτικοί, όταν διδάσκουν τις ιοντικές ενώσεις, σχεδιάζουν ιόντα παρόμοιου μεγέθους. Αυτό επίσης μπορεί να παρατηρηθεί και σε ορισμένα σχολικά βιβλία. Συνεπώς δημιουργούνται στους μαθητές εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με το μέγεθος των ιοντικών ακτίνων. Παρανοήσεις που μπορούν να δημιουργηθούν είναι οι εξής: (1) Η ακτίνα του ιόντος νατρίου είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα του ατόμου νατρίου και η ακτίνα του ιόντος χλωρίου είναι μικρότερη από την ακτίνα του ατόμου χλωρίου, (2) η ακτίνα του ιόντος νατρίου είναι μεγαλύτερη από το ιόν χλωρίου, (3) ο ιοντικός δεσμός είναι ένας δεσμός που σχηματίζεται από μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ μετάλλων και αμετάλλων, (4) τα άτομα νατρίου με τα άτομα χλωρίου σχηματίζουν μόρια με τη μεταφορά ηλεκτρονίων, (5) στην εικόνα αναπαράστασης του κρυσταλλικού πλέγματος του NaCl, το ιόν νατρίου είναι συνδεδεμένο με ένα ιόν χλωρίου με ιοντικό δεσμό, ενώ με ένα άλλο ιόν χλωρίου συνδέεται με μια ελκτική δύναμη, (6) ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ένας δεσμός στον οποίο δύο άτομα συνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση ηλεκτρονίων και κάθε άτομο εμφανίζει ηλεκτρονιακή απεικόνιση (electron configuration) ανάλογη με αυτή ενός ευγενούς αερίου, (7) τα μη πολικά μόρια σχηματίζονται μόνο από άτομα με την ίδια ηλεκτραρνητικότητα και (8) ένας μεταλλικός δεσμός σχηματίζεται όταν ένα, δύο ή τρία ηλεκτρόνια της στιβάδας σθένους «δωρίζονται» στο μεταλλικό πλέγμα, έτσι ώστε να ικανοποιείται η ηλεκτρονιακή απεικόνιση ενός ευγενούς αερίου.

Σε έρευνά τους ο Pazinato και συν. (2020) αξιολόγησαν την ανάπτυξη των εννοιών του χημικού δεσμού σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δημοσίων σχολείων

στη νότια Βραζιλία. Για το σκοπό αυτό, δημιούργησαν το επιστημολογικό προφίλ καθενός μαθητή που συμμετείχε σε μια ακολουθία διδασκαλίας-μάθησης (teaching – learning sequence, TLS) σχετικά με το θέμα του χημικού δεσμού, με βάση τα θεμέλια της θεωρίας του Bachelard⁶. Η έρευνα έγινε σε δύο τάξεις που είχαν συνολικά 48 μαθητές, οι οποίοι συμμετείχαν στην TLS. Αναλύθηκαν τα ερωτηματολόγια 29 μαθητών που ήταν παρόντες σε όλα τα μαθήματα στην τάξη. Τα ερωτηματολόγια εφαρμόστηκαν πριν από, κατά τη διάρκεια και μετά από την ανάπτυξη της TLS, η οποία αντιστοιχούσε σε μια περίοδο πέντε μηνών. Τα δεδομένα αναλύθηκαν πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την διδασκαλία του χημικού δεσμού. Η διαδικασία ανάλυσης περιελάμβανε τρία βήματα που παρείχαν την κατασκευή του επιστημολογικού προφίλ του χημικού δεσμού για κάθε μαθητή. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης των μαθητών στην TLS, εντοπίστηκαν πολλά εμπόδια στην ανάπτυξη της ορθολογικής σκέψης για την κατανόηση του χημικού δεσμού. Όσον αφορά το θέμα της χημικής σταθερότητας, εντοπίστηκαν εμπειρικές αντιλήψεις, μεταξύ των οποίων ο κανόνας οκτάδας, ο οποίος ξεχώρισε ως το κύριο επιστημολογικό εμπόδιο. Κατά τη διάρκεια της οικοδόμησης γνώσης σχετικά με τον ιοντικό δεσμό, εντοπίστηκαν επιστημολογικά εμπόδια διαφορετικών ειδών, όπως για παράδειγμα, να φανταστεί κανείς ότι το κρυσταλλικό πλέγμα αντιστοιχεί σε έναν κόκκο επιτραπέζιου αλατιού. Τέλος στο θέμα του ομοιοπολικού δεσμού, η έλλειψη εννοιών σχετικά με τη δομή της ύλης και τις περιοδικές ιδιότητες, αποτέλεσε εμπόδιο στην κατανόηση της φύσης του δεσμού. Παρατηρήθηκε μια ισχυρή επιρροή της εμπειρικής σκέψης και εντοπίστηκαν παρανοήσεις σε γενικές γνώσεις που εκφράστηκαν μέσω της εφαρμογής κανόνων όπως ο κανόνας της οκτάδας και η κοινή χρήση ή η μεταφορά ηλεκτρονίων. Τα παραπάνω δημιούργησαν παρανοήσεις και εμπόδισαν τις σκέψεις των μαθητών που σχετίζονται με τις ηλεκτρικές δυνάμεις Coulomb (π.χ. η έλξη μεταξύ του πυρήνα και των ηλεκτρονίων των ατόμων).

Οι Teichert και συν. (2021) στο Τμήμα Χημείας της Ναυτικής Ακαδημίας των Ηνωμένων Πολιτειών ανέπτυξαν μια διαδικασία εξέτασης της μάθησης των φοιτητών στο χημικό δεσμό. Το συγκεκριμένο θέμα αντιμετωπίζεται σε πολλά μαθήματα σε

⁶ Σύμφωνα με τη θεωρία του Bachelard, η επιστημονική γνώση εξελίσσεται μέσω φιλοσοφικών ζωνών. Καμία έννοια δεν μπορεί να εξηγηθεί πλήρως από μία μόνο φιλοσοφική ζώνη. Η συνύπαρξη διαφορετικών φιλοσοφικών προοπτικών για μια δεδομένη έννοια αποκαλύπτει έναν πλουραλισμό επιστημονικών ιδεών, που οδήγησε τον Bachelard να προτείνει την έννοια του επιστημολογικού προφίλ. Η γνώση εξελίσσεται φιλοσοφικά από τον ρεαλισμό στον εμπειρισμό και από τον εμπειρισμό στον ορθολογισμό (Pazinato, et al., 2020).

ολόκληρο το πρόγραμμα σπουδών. Η αξιολόγηση περιέλαβε τη δημιουργία και την εφαρμογή ενός γραπτού εργαλείου αξιολόγησης, το οποίο δόθηκε σε φοιτητές χημείας. Το εργαλείο αξιολόγησης αποτελούνταν από 13 στοιχεία ελεύθερης απάντησης. Συντάχθηκε από κοινού από μια ομάδα καθηγητών του Τμήματος Χημείας, η οποία αντιπροσώπευε πέντε κύριους κλάδους (αναλυτική χημεία, βιοχημεία, ανόργανη χημεία, οργανική χημεία και φυσικοχημεία). Η ανάλυση της εργασίας των φοιτητών αποκάλυψε ελλιπή κατανόηση και παρανοήσεις. Στις παρανοήσεις μεταξύ άλλων περιλαμβάνονταν η θεωρία δεσμού σθένους και η θεωρία των συμπλόκων. Τα αποτελέσματα αυτά προσέφεραν σημαντικές πληροφορίες για πιθανούς τομείς βελτίωσης στο πρόγραμμα σπουδών.

2.2.3. Γενικές - ειδικές δυσκολίες και παρανοήσεις

Ο Taber (1995) ερεύννησε την κατανόηση των μαθητών για ορισμένες πολύ βασικές έννοιες του χημικού δεσμού και βρήκε παρανοήσεις σχετικά με τους ομοιοπολικούς δεσμούς, τους μεταλλικούς δεσμούς, τις δομές συντονισμού, τους δεσμούς υδρογόνου και τις δυνάμεις van der Waals. Για παράδειγμα, πολλές φορές οι μαθητές ανέφεραν τις ιοντικές ενώσεις ως μια περίπτωση ενδομοριακού δεσμού. Επίσης, υπήρξαν κάποιες ενδείξεις ότι οι μαθητές συσχέτισαν τους διαμοριακούς δεσμούς με τις φυσικές ιδιότητες όπως το σημείο βρασμού. Αυτά τα αποτελέσματα είναι συνεπή με τα ευρήματα των Peterson και Treagust (1989), Peterson και συν. (1989) και Taber (1998).

Οι Tan και Treagust (1999) περιγράφουν την ανάπτυξη ενός διαγνωστικού οργάνου πολλαπλών επιλογών δύο επιπέδων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με τους χημικούς δεσμούς που έχουν παιδιά ηλικίας 14-16 ετών. Το εργαλείο αυτό διανεμήθηκε σε 119 μαθητές και τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναλύθηκαν. Παρατίθενται και συζητούνται οι κοινές εναλλακτικές αντιλήψεις που βρέθηκαν να έχουν. Οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών (ελήφθησαν υπόψη μόνο αυτές που το ποσοστό τους ήταν μεγαλύτερο είτε ίσο του 10% του δείγματος των μαθητών) ήταν σχετικές με: το χημικό δεσμό, τα κρυσταλλικά πλέγματα, τις ενδομοριακές και τις διαμοριακές δυνάμεις και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του γραφίτη.

Η Nicoll (2001) πραγματοποίησε συνεντεύξεις σε 56 φοιτητές από έξι διαφορετικά μαθήματα, οι οποίοι αντιπροσώπευαν από πρωτοετείς φοιτητές μέχρι ανώτερου επιπέδου ειδικότητες χημείας. Η συνέντευξη αποκάλυψε μια σειρά από παρανοήσεις

που δεν είχαν τεκμηριωθεί προηγουμένως. Οι παρανοήσεις σχετίζονταν με την ηλεκτραρνητικότητα, τους χημικούς δεσμούς, τη γεωμετρία του μορίου και τις αναπαραστάσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο. Επιπλέον, διερευνήθηκε πώς συσχετίζονται οι λανθασμένες αντιλήψεις με το μορφωτικό επίπεδο. Βγήκε το συμπέρασμα ότι οι παρανοήσεις ορισμένων μαθητών σχετικά με το χημικό δεσμό είναι δύσκολο να αντικατασταθούν παρά την επιπλέον διδασκαλία στη διδακτική της χημείας.

Χρησιμοποιώντας μια συνέντευξη τριών βημάτων, ο Coll (2008) εξέτασε τα νοητικά μοντέλα 30 μαθητών από τρεις εκπαιδευτικές βαθμίδες, ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τριτοβάθμια εκπαίδευση σε προπτυχιακό επίπεδο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Στο πρώτο βήμα παρουσιάστηκαν στους συμμετέχοντες ορισμένες κοινές ουσίες, όπως το επιτραπέζιο αλάτι, και τους ζητήθηκε να εξηγήσουν το είδος του χημικού δεσμού. Στη συνέχεια (δεύτερο βήμα) παρουσιάστηκαν ορισμένες φυσικές ή χημικές ιδιότητες (για παράδειγμα ελατότητα και αγωγιμότητα) και ζητήθηκε από τους σπουδαστές, με χρήση των νοητικών τους μοντέλων, να αιτιολογήσουν αυτά που παρατήρησαν. Τέλος, παρουσιάστηκαν ορισμένες απεικονίσεις νοητικών μοντέλων, που αντλήθηκαν από το υλικό του προγράμματος σπουδών, και τους ζητήθηκε η προτίμησή τους. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν επίσης από υλικό του προγράμματος σπουδών και από συνεντεύξεις καθηγητών. Αναγνωρίστηκαν τρία συστήματα-στόχοι για χημικούς δεσμούς (μεταλλικός, ιοντικός και ομοιοπολικός) και οκτώ μοντέλα-στόχοι (θεωρία μοριακών τροχιακών, θάλασσα ηλεκτρονίων, κ.λπ.) με τα οποία ερμηνεύτηκαν τα δεδομένα των συνεντεύξεων. Τα ευρήματα απέδειξαν ότι οι εκπαιδευόμενοι, ανεξαρτήτως εκπαιδευτικής βαθμίδας, προτίμησαν απλά και ρεαλιστικά νοητικά μοντέλα. Υπήρξε έτσι μια ποικιλία στο κατά πόσο οι σπουδαστές μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα αυτά με σκοπό να εξηγήσουν κοινές φυσικές και χημικές ιδιότητες των ουσιών.

Οι Şen και Yilmaz (2013) ερεύνησαν τον τρόπο που οι μαθητές αντιλαμβάνονται και αναγνωρίζουν την έννοια του χημικού δεσμού. Επίσης εντόπισαν τις παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με την έννοια αυτή, μέσω μιας φαινομενογραφικής ερευνητικής μεθόδου. Στην έρευνα συμμετείχαν 17 δευτεροετείς φοιτητές που είχαν εγγραφεί στο μάθημα της Ανόργανης Χημείας στην Παιδαγωγική Σχολή. Οι παρανοήσεις που συσχετίζονταν με τους χημικούς δεσμούς ταξινομήθηκαν σε επτά κατηγορίες: φυσικές μεταβολές και χημικός δεσμός, ιοντικός δεσμός, σχηματισμός χημικών

δεσμών, ύπαρξη χημικών δεσμών, ομοιοπολικοί δεσμοί, μεταλλικοί δεσμοί και διαμοριακοί δεσμοί.

Οι Wang και Barrow (2013) πραγματοποίησαν μια σύγκριση των εννοιολογικών πλαισίων του χημικού δεσμού που κατείχαν προπτυχιακοί φοιτητές γενικής χημείας με υψηλά και χαμηλά επίπεδα γνώσης περιεχομένου. Σκοπός της μελέτης ήταν να διερευνήσει τα εννοιολογικά πλαίσια των μαθητών για μοντέλα ατομικής δομής, των χημικών δεσμών, της γεωμετρίας ενός μορίου και της πολικότητας, και πώς αυτά τα εννοιολογικά πλαίσια επηρεάζουν τις εξηγήσεις των φοιτητών. Διαπιστώθηκε ότι οι φοιτητές που είχαν πολλές γνώσεις αντιμετώπισαν τους χημικούς δεσμούς ως ηλεκτροστατική δύναμη μεταξύ δύο ατόμων και δικαιολόγησαν το σχηματισμό δεσμών και τη σταθερότητα που αυτοί αποκτούν με τον κανόνα της οκτάδας. Επιπλέον, γνώριζαν ότι υπάρχουν εξαιρέσεις από τον κανόνα της οκτάδας και μπορούσαν να συνδέσουν την πολικότητα του δεσμού με τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των ατόμων. Αντίθετα, οι μαθητές με λιγότερες γνώσεις θεώρησαν τους χημικούς δεσμούς ως κάποιο είδος (ελκτικής) δύναμης μεταξύ δύο ατόμων και αιτιολόγησαν το σχηματισμό δεσμού και τη σταθερότητα με τον κανόνα της οκτάδας ή με τελολογικές εξηγήσεις. Γενικά δεν μπορούσαν να χειριστούν με ευκολία περιπτώσεις με εξαιρέσεις από τον κανόνα της οκτάδας και εμφάνιζαν παρανοήσεις, αλλά, όπως και οι σπουδαστές που είχαν πολλές γνώσεις, συνέδεσαν την πολικότητα του δεσμού με τη διαφορά στην ηλεκτραρνητικότητα μεταξύ των ατόμων.

2.3. Ανασκόπηση προτάσεων για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού

Είναι σημαντικό στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών οι έννοιες όχι μόνο να εισάγονται με επιστημονικό τρόπο, αλλά να είναι και εύκολα κατανοητές από τους μαθητές. Για να γίνουν κατανοητές έννοιες που σχετίζονται με τους δεσμούς και τη δομή (π.χ. ομοιοπολικοί και ιοντικοί δεσμοί, μόρια, ιόντα, δεσμοί υδρογόνου κ.ά), οι μαθητές θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με τις μαθηματικές και φυσικές έννοιες και κανόνες που σχετίζονται με έννοιες των δεσμών, όπως τροχιακά, ηλεκτραρνητικότητα, ηλεκτρόνιο, πολικότητα, νόμος του Coulomb. Επιπλέον, οι μαθητές θα πρέπει να μπορούν να κάνουν προβλέψεις και να εξηγούν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ουσιών. Οι εκπαιδευτικοί και τα σχολικά βιβλία χημείας

συνεχίζουν να παρουσιάζουν τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό ως εντελώς διαφορετικές κατηγορίες χημικών δεσμών παρά την ευρέως αποδεκτή αντίληψη ότι ο ομοιοπολικός δεσμός, ο πολικός ομοιοπολικός δεσμός και ο ιοντικός δεσμός αποτελούν μια συνέχεια. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι το θέμα του πολικού ομοιοπολικού δεσμού παρουσιάζεται συχνά με μια προβληματική προσέγγιση, αφήνοντας τους μαθητές ελεύθερους να ερμηνεύουν τις έννοιες του δεσμού με πολλούς τρόπους (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019). Επίσης πολλοί μαθητές φαίνεται να μην αντιλαμβάνονται την ηλεκτροστατική φύση του χημικού δεσμού (Boo, 1998; Mendonça & Justi, 2009; Özmen, 2004; Peterson, Treagust & Garnett, 1989; Schmidt, 1997; Taber, 1995; Venkataraman, 2017).

Οι Tsaparlis και συν. (2019) προτείνουν την παρακάτω κατηγοριοποίηση προτάσεων για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού:

- α. Μελέτες σχετικές με την κατανόηση των μαθητών
- β. Νέες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού
- γ. Μελέτες που σχετίζονται με συγκεκριμένες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού.

2.3.1. Μελέτες σχετικές με την κατανόηση των μαθητών

Οι Barker και Millar (2000) πραγματοποίησαν μια μελέτη με 250 μαθητές που παρακολουθούσαν το μάθημα Salters Advanced Chemistry (SAC). Κατά τη διάρκεια του μαθήματος διερεύνησαν μια σειρά χημικών ιδεών (εξώθερμος χαρακτήρας σχηματισμού χημικού δεσμού, ομοιοπολικοί, ιοντικοί και διαμοριακοί δεσμοί). Οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν στις ίδιες διαγνωστικές ερωτήσεις σε τρεις χρονικές περιόδους: στην αρχή, μετά από οκτώ μήνες και μετά από δεκαέξι μήνες κατά τη διάρκεια ενός εικοσάμηνου μαθήματος. Στην αρχή, υπήρξαν πολλές παρανοήσεις σχετικά με αυτές τις χημικές ιδέες, γενικά όμως η κατανόησή τους άρχισε να βελτιώνεται καθώς το μάθημα προχωρούσε. Μέχρι το τέλος της έρευνας, περίπου οι μισοί μαθητές γνώριζαν ότι η δημιουργία χημικών δεσμών είναι εξώθερμη διαδικασία. Στην αρχική αξιολόγηση λίγοι μαθητές μπορούσαν να περιγράψουν τη δημιουργία του ομοιοπολικού δεσμού με ακρίβεια ή να κατανοήσουν τον δεσμό υδρογόνου. Στην τελική αξιολόγηση όμως η πλειονότητα των μαθητών έδωσε απαντήσεις στην τελική έρευνα που ήταν σύμφωνες με τις επιστημονικές ιδέες και αντιλήψεις. Παρόλα αυτά, ορισμένες πτυχές των χημικών δεσμών, συμπεριλαμβανομένων των ιοντικών δεσμών και των διαμοριακών δεσμών (εκτός

από τους δεσμούς υδρογόνου), παρέμειναν «προβληματικές» για τους μαθητές. Έτσι στην περίπτωση του ιοντικού δεσμού μερικοί μαθητές θεωρούν ότι οι ιοντικές ενώσεις αποτελούνται από μόρια, όπως στην περίπτωση των ομοιοπολικών ενώσεων. Αυτό έχει ως συνέπεια να αποδίδουν σε ιοντικές ενώσεις χαρακτηριστικά των ομοιοπολικών ενώσεων (για παράδειγμα οι δυνάμεις δεν ασκούνται προς όλες τις κατευθύνσεις).

Οι Hilton και Nichols (2011) έλαβαν ως σημείο εκκίνησης το δόγμα ότι πολλές από τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές της χημείας είναι αποτέλεσμα προηγούμενης διδασκαλίας. Διερεύνησαν τη συμβολή της σαφούς διδασκαλίας σχετικά με τις πολλαπλές αναπαραστάσεις στην κατανόηση και την αναπαράσταση των χημικών δεσμών από τους μαθητές δύο τάξεων της ενδέκατης βαθμίδας ($n = 27$, $n = 22$). Οι συγκρίσεις πριν και μετά το τεστ έδειξαν βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση και στην αναπαραστατική ικανότητα, ενώ η ανάλυση των κειμένων των μαθητών παρείχε περαιτέρω στοιχεία για την ικανότητα των μαθητών να χρησιμοποιούν πολλαπλές αναπαραστάσεις για να εξηγήσουν μακροσκοπικά φαινόμενα σε μοριακό επίπεδο. Τα ευρήματα έδειξαν ότι η σαφής διδασκαλία με την αναπαραστατική μορφή και λειτουργία συμβάλλει στην ενίσχυση της αναπαραστατικής ικανότητας και της εννοιολογικής κατανόησης του δεσμού στη χημεία, ενώ οι στρατηγικές δημιουργίας ενός σκελετού προγράμματος που χρησιμοποίησε ο δάσκαλος έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη μαθησιακή διαδικασία.

Οι Croft και de Berg (2014) σε έρευνά τους επέλεξαν έξι βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις που προσδιορίζονται στη βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών για τους χημικούς δεσμούς και δείχνουν πώς μια ιστορική ανάλυση και μια ανάλυση σχολικού βιβλίου μπορούν να προβάλουν αυτές τις αντιλήψεις και να οδηγήσουν σε συστάσεις για τη βελτίωση της διδασκαλίας και της εκμάθησης των χημικών δεσμών σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Εστίασαν στις έννοιες του φορτίου, του κανόνα της οκτάδας, του ζεύγους ηλεκτρονίων, του ιοντικού, του ομοιοπολικού και του μεταλλικού δεσμού. Τέλος, δημιουργήθηκε ένας πίνακας συστάσεων για τον εκπαιδευτικό και το μαθητή υπό το φως τεσσάρων θεμελιωδών ερωτημάτων και των έξι εναλλακτικών αντιλήψεων για τη βελτίωση της ποιότητας των διαθέσιμων πόρων του προγράμματος σπουδών και του επιπέδου δέσμευσης των μαθητών. Οι συγγραφείς έκαναν πέντε συστάσεις σχετικά με: (1) Την έννοια του «φορτίου» και τη σημασία του θετικού και αρνητικού φορτίου, (2) τη διαφορά μεταξύ ισορροπίας φορτίου και εξουδετέρωσης φορτίου, (3) τη σημασία του φορτίου

σε ένα ιόν σε σχέση με τον αριθμό των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων, (4) τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του μοντέλου του κυβικού ατόμου και τις σχετικές τάσεις στον περιοδικό πίνακα, (5) την έμφαση στην ηλεκτρική φύση του χημικού δεσμού. Για να ενημερώσουν τους εκπαιδευτικούς για την πολυπλοκότητα του θέματος του χημικού δεσμού και για να αποδείξουν ότι τα επιστημονικά μοντέλα δεν είναι ποτέ ολοκληρωμένα, οι συγγραφείς παρέχουν επίσης μια περιγραφή του ρόλου των εικονικών φωτονίων στην εξήγηση του τι εννοούμε όταν λέμε ότι κάτι είναι φορτισμένο, καθώς και τις απώσεις και τις έλξεις που δημιουργούνται λόγω των φορτίων. Οι απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα προκύπτουν από τη σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στη σωματιδιακή *φυσική του πεδίου* της κβαντικής ηλεκτροδυναμικής, δημιουργός της οποίας θεωρείται ο Richard Feynman. Βέβαια, αυτό το θέμα δεν προορίζεται για το πρόγραμμα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Οι Joki και λοιποί συν. (2015) σχεδίασαν έναν καινοτόμο τρόπο διδασκαλίας του χημικού δεσμού σε επίπεδο γυμνασίου, με βάση την έρευνα. Η ανάλυση των δεδομένων της συνέντευξής τους αποκάλυψε ότι η εφαρμογή αρχών που σχετίζονται με τις αλληλεπιδράσεις των δυνάμεων Coulomb για την κατανόηση του χημικού δεσμού απαιτεί την ταυτόχρονη εκτίμηση πολλών παραγόντων όπως: οι ηλεκτρονιακές στοιβάδες σε σχέση με τα ενεργειακά επίπεδα, η απόσταση μεταξύ των ηλεκτρονίων σθένους και του πυρήνα (με το δραστικό πυρηνικό φορτίο). Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η μελέτη εισάγει δυο νέα σημεία στην έρευνα της χημικής εκπαίδευσης: 1. Έμφαση στις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις στους περισσότερους τύπους δεσμών και αποφυγή του κανόνα του οκτώ και 2. μια συστημική αντίληψη της δομής πλέγματος, η οποία έγκειται σε αυτές τις κατασκευές, βοηθά να εξηγήσει λεπτομερώς τη σχέση μεταξύ του διαχωρισμού των εννοιών και των κατασκευών και της σπουδαιότητάς τους σαν ένα σύνολο.

Οι Bergqvist και συν. (2016) ερεύνησαν τη βάση γνώσεων των δασκάλων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού. Ο χημικός δεσμός διδάσκεται κυρίως με τη χρήση μοντέλων, τα οποία είναι βασικά για την κατανόηση της επιστήμης. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε τρία βασικά συστατικά της γνώσης παιδαγωγικού περιεχομένου (PCK): (1) την κατανόηση των μαθητών, (2) τις αναπαραστάσεις τους και (3) τις εκπαιδευτικές στρατηγικές τους. Αναλύθηκαν τα σχέδια μαθημάτων σχετικά με τους χημικούς δεσμούς που δημιουργήθηκαν από 10 καθηγητές χημείας με τους οποίους πραγματοποιήθηκαν ημιδομημένες συνεντεύξεις

σχετικά με τη διδασκαλία τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπαιδευτικοί γενικά αγνοούσαν πώς οι αναπαραστάσεις των μοντέλων που χρησιμοποιούσαν επηρέαζαν την κατανόηση των μαθητών, είχαν πρόβλημα να προσδιορίσουν τις δυσκολίες κατανόησης των μαθητών και χρησιμοποιούσαν εκπαιδευτικές στρατηγικές που ως επί το πλείστον ήταν ανεπαρκείς για την προώθηση της κατανόησης των μαθητών.

Οι Tsaparlis και συν. (2018) αναφέρουν τα ευρήματα μιας μελέτης η οποία είχε ως στόχο να εξετάσει τις γνώσεις και την κατανόηση σε μια σειρά από βασικές έννοιες που σχετίζονται με το χημικό δεσμό. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε μελετήθηκαν τρία δείγματα μαθητών. Το ένα αποτελούνταν από μαθητές α' λυκείου τριών δημόσιων σχολείων, το δεύτερο δείγμα περιλάμβανε πρωτοετείς φοιτητές χημείας και βιολογίας και το τρίτο δείγμα αφορούσε μαθητές α' λυκείου ενός ιδιωτικού σχολείου. Οι μαθητές γενικά εμφάνισαν περιορισμένες γνώσεις και ορισμένες παρανοήσεις σχετικά με τους χημικούς δεσμούς. Το ιδιωτικό σχολείο και οι πρωτοετείς φοιτητές του πανεπιστημίου είχαν καλύτερες γνώσεις από τους μαθητές των δημοσίων σχολείων. Όσον αφορά τους μαθητές της α' λυκείου (των δημοσίων και του ιδιωτικού σχολείου), χωρίστηκαν σε ομάδες μεθοδολογίας και ομάδες ελέγχου. Οι ομάδες ελέγχου διδάχθηκαν χρησιμοποιώντας το τυπικό ελληνικό σχολικό βιβλίο χημείας, ενώ για τις ομάδες μεθοδολογίας χρησιμοποιήθηκε ένα εμπλουτισμένο διδακτικό υλικό. Διαπιστώθηκε ότι ενώ οι δύο ομάδες εμφάνισαν παρόμοια απόδοση σε πολλές έννοιες του χημικού δεσμού, οι ομάδες μεθοδολογίας εμφάνισαν καλύτερα αποτελέσματα (σε μια γραπτή αξιολόγηση/τεστ) σε σχέση με ορισμένα ζητήματα, όπως ο ρόλος των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων, η ηλεκτραρνητικότητα και η πολικότητα του δεσμού.

Οι Joki και Aksela (2018), λαμβάνοντας υπόψη έρευνά τους, που εξετάστηκε παραπάνω (Joki και συν. 2015), πραγματοποίησαν μια μελέτη περίπτωσης σχετική με την κατανόηση της εκμάθησης και της διδασκαλίας του χημικού δεσμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο διδασκαλίας με βάση την έρευνα, στο οποίο ο χημικός δεσμός εισάγεται ως ηλεκτροστατικό φαινόμενο. Η μελέτη έθεσε δύο βασικά ερωτήματα: (i) πώς εξελίσσεται η κατανόηση του μαθητή για τους χημικούς δεσμούς από το γυμνάσιο στο λύκειο όταν χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτροστατικό μοντέλο για το χημικό δεσμό στο γυμνάσιο; (ii) Πώς επηρεάζει την κατανόηση των μαθητών η διδασκαλία του κανόνα της οκτάδας στο λύκειο; Κατόπιν πήραν συνεντεύξεις από τους μαθητές μετά το γυμνάσιο και ξανά κατά τη διάρκεια της πρώτης τάξης του λυκείου. Συνεντεύξεις έδωσαν και οι καθηγητές χημείας. Τα

ευρήματα έδειξαν ότι η προηγούμενη σωστή κατανόηση του μοντέλου ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων από τους μαθητές στο γυμνάσιο δεν εμπόδισε την μεταγενέστερη ανάπτυξη λιγότερο ορθολογικής σκέψης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, υπάρχει ανάγκη οι εκπαιδευτικοί να αναπτύξουν τις κατάλληλες γνώσεις παιδαγωγικού περιεχομένου προκειμένου να προωθήσουν την καλύτερη κατανόηση του χημικού δεσμού.

2.3.2. Νέες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού

Ο Tsaparlis (2000), στην προσέγγιση καταστάσεων της ύλης (SOMA), για τη χημεία της α' λυκείου, ασχολήθηκε με μια διαφορετική προσέγγιση που αφορούσε τις τρεις καταστάσεις της ύλης. Πιο συγκεκριμένα διέκρινε τρεις κύριες ενότητες: Α. Ο αέρας, τα αέρια και η αέρια κατάσταση. Β. Το αλάτι, τα άλατα και η στερεά κατάσταση. Γ. Το νερό, τα υγρά και η υγρή κατάσταση. Μεταξύ των χαρακτηριστικών αυτής της προσέγγισης ήταν η εισαγωγή πρώτα της αέριας κατάστασης. Εκτός από το ότι είναι η απλούστερη και καλύτερα κατανοητή από τους επιστήμονες, η αέρια κατάσταση καθιστά απαραίτητη την έναρξη της μελέτης του δεσμού με τον ομοιοπολικό δεσμό (τόσο μη πολικό όσο και πολικό) και αυτό συμφωνεί με τη σύσταση του Johnstone (Johnstone, 2000; Johnstone, Morrison & Reid, 1981). Επιπλέον τα στοιχεία και οι ενώσεις που συναντάμε σε αέρια κατάσταση, υπό κανονικές συνθήκες τείνουν να είναι μικρά απλά μόρια με ομοιοπολικό δεσμό ή μεμονωμένα άτομα [αμέταλλα άτομα (H, O, N, αλογόνα, και ευγενή αέρια) και χημικές ενώσεις (H_2O , O_2 , NH_3 , NO_x , CO , CO_2 , αέριοι υδρογονάνθρακες, H_2S , SO_2 , HCl)], επομένως ούτε τα ιόντα ούτε ο ιοντικός δεσμός είναι απαραίτητα. Στην περίπτωση ενός ιδανικού αερίου, οι διαμοριακές δυνάμεις επίσης απουσιάζουν. Τέλος, γίνεται μια ενοποιημένη αντιμετώπιση ανόργανης και οργανικής χημείας και η χημεία (ιδιότητες και αντιδράσεις) κρατείται σε ένα μίνιμουμ που έχει σχέση με τις πρακτικές εφαρμογές. Η δεύτερη ενότητα που μελετά τη στερεά κατάσταση επιτρέπει την εισαγωγή του ιοντικού δεσμού και των κρυσταλλικών δομών. Στα στερεά περιλαμβάνονται: ο περιοδικός πίνακας, τα γιγάντια ομοιοπολικά μόρια, τα μέταλλα και οι μεταλλικοί δεσμοί. Αν και η λογική συνέχεια της αέριας θα ήταν η υγρή κατάσταση, προηγείται η στερεά κατάσταση διότι είναι δομικά απλούστερη από την υγρή κατάσταση, χαρακτηριζόμενη από την τέλεια οργάνωση, σε πλήρη αντίθεση με την αταξία της αέριας κατάστασης και επιπλέον, με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατή η μελέτη των υγρών διαλυμάτων και

των οξέων και βάσεων μαζί με την υγρή κατάσταση. Τέλος, στην τρίτη ενότητα που μελετά τα υγρά περιλαμβάνονται: οι διαμοριακοί δεσμοί (δεσμός Van der Waals, δεσμός υδρογόνου και δυνάμεις διασποράς London) και τα διαλύματα όπως αναφέραμε και παραπάνω (Πύργας, 2006; Πύργας & Τσαπαρλής, 2005, 2007; Τσαπαρλής, 1998; Tsaparlis, 2000).

Στα πλαίσια της εκπόνησης διατριβής μεταπτυχιακής ειδίκευσης συντάχθηκε το διδακτικό πειραματικό υλικό για την χημεία της α' λυκείου με βάση την προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης (SOMA) και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια αρχική αξιολόγησή του από έμπειρους εκπαιδευτικούς που διδάσκουν χημεία στο λύκειο (Πύργας, 2006; Pyrgas & Tsaparlis, 2010; Tsaparlis & Pyrgas, 2011). Το διδακτικό πειραματικό υλικό για την χημεία της α' λυκείου και η αρχική αξιολόγησή του από εκπαιδευτικούς παρουσιάστηκαν σε δύο διεθνή συνέδρια, στην Κρακοβία το 2010 και στη Λυών το 2011 (Pyrgas & Tsaparlis, 2010; Tsaparlis & Pyrgas, 2012). Το διδακτικό πειραματικό υλικό είναι διαθέσιμο στον Κόμβο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΚοΔιΦΕΕΤ), (βλ. κεφάλαιο 7).

Ο Taber (2001b) προσδιόρισε τα ακόλουθα τέσσερα βασικά «παιδαγωγικά μαθησιακά εμπόδια» για την αποτελεσματική διδασκαλία και εκμάθηση των χημικών δεσμών:

1. Μια ατομική οντολογία και η αρχική ατομικότητα: Τα άτομα υποτίθεται ότι είναι οι μόνες θεμελιώδεις μονάδες ουσιών. Για παράδειγμα, θεωρούμε ότι αντιδρούν άτομα νατρίου με άτομα χλωρίου και κατόπιν πραγματοποιείται μια ανταλλαγή ηλεκτρονίων (το άτομο νατρίου χάνει ένα ηλεκτρόνιο και μετατρέπεται σε κατιόν, ενώ το άτομο χλωρίου αποκτά το ηλεκτρόνιο του νατρίου και μετατρέπεται σε ανιόν). Στην πραγματικότητα όμως η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι πολύ πιο πολύπλοκη.
2. Η υπεργενίκευση του κανόνα της οκτάδας: Ο κανόνας αυτός θα έπρεπε να χρησιμοποιείται ως τρόπος αναγνώρισης πιθανών σταθερών χημικών ουσιών και όχι ως ο λόγος για των οποίο πραγματοποιούνται οι χημικές αντιδράσεις.
3. Η διχοτομική ταξινόμηση των χημικών δεσμών: Οι ομοιοπολικοί δεσμοί σχηματίζονται με αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων μεταξύ αμέταλλων ατόμων. Στον ιοντικό δεσμό έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο σε ένα αμέταλλο άτομο χημικού στοιχείου. Ο παραπάνω τρόπος παρουσίασης των χημικών δεσμών οδηγεί στην παρανόηση ότι οι ενδομοριακοί δεσμοί (ιοντικός, ομοιοπολικός, μεταλλικός) είναι εντελώς διαφορετικοί μεταξύ τους,

ενώ διαμοριακοί δεσμοί, όπως ο δεσμός van der Waals, δεν θεωρούνται ως «σωστοί» δεσμοί.

4. Η χρήση της ανθρωπόμορφης γλώσσας: [για παράδειγμα, «σχηματίστηκαν δεσμοί και έγιναν αντιδράσεις, έτσι ώστε τα άτομα να μπορούν να έχουν συμπληρωμένη την εξωτερική στιβάδα ή οκτάδα ηλεκτρονίων» – έτσι οι εξηγήσεις των μαθητών συνήθως διατυπώνονται με όρους του τι μπορεί να «θέλει» ή να «χρειάζεται» ένα άτομο (Taber & Adbo, 2013, σελ. 348)].

Για να αντιμετωπίσει αυτά τα μαθησιακά εμπόδια και τις αντίστοιχες εναλλακτικές αντιλήψεις, ο Taber (2001b) πρότεινε ένα διδακτικό μοντέλο για τους χημικούς δεσμούς, το οποίο ξεκινά με τις μεταλλικές δομές, στη συνέχεια μελετώνται οι ιοντικές δομές, οι γιγάντιες ομοιοπολικές δομές και τέλος οι απλές μοριακές δομές. Το μοντέλο αυτό δίνει έμφαση στα μόρια και τα ιόντα (και όχι στα άτομα) ως τη βασική μονάδα της ύλης. Αυτή η διαδικασία στοχεύει στην αποφυγή της υπόθεσης της αρχικής ατομικότητας. Χρησιμοποιούνται οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις για να εξηγηθεί η φύση των δεσμών, οι δομές και οι ιδιότητες των ουσιών, όχι όμως ο κανόνας της οκτάδας, ούτε αποδίδονται κατά την περιγραφή των χημικών δεσμών ανθρωπόμορφοι χαρακτηρισμοί («επιθυμεί να ...», «θέλει να ...» κ.ά.). Η αντιμετώπιση των χημικών δεσμών από την οπτική της ηλεκτροστατικής τους φύσεως θα μπορούσε να χρησιμεύσει επίσης ως μια καλή βάση και για τη μετέπειτα εκμάθηση εννοιών όπως: η ηλεκτραρνητικότητα, η πολικότητα των χημικών δεσμών, ο δεσμός υδρογόνου κ.ά.

Ένα βιβλίο με τίτλο «Teaching secondary chemistry», που επιμελήθηκε ο K. S. Taber και γράφτηκε τόσο για νέους όσο και για έμπειρους καθηγητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, περιλαμβάνει ένα κεφάλαιο του Taber (2012) σχετικά με τα μοντέλα χημικών δεσμών (βλ. Παράρτημα ΙΙΙ). Υπάρχουν τέσσερις ενότητες σε αυτό το κεφάλαιο: 1. Από τη ικανότητα συγκράτησης στον χημικό δεσμό, 2. Αρχές που διέπουν την έννοια του δεσμού, 3. Μοντελοποίηση των ειδών του χημικού δεσμού, 4. Συσχετίζοντας το είδος του δεσμού με τις μεταβολές στη χημεία. Η 3^η ενότητα, «Μοντελοποίηση των ειδών του χημικού δεσμού», εξετάζει τα μεταλλικά πλέγματα, τα ιοντικά πλέγματα, τους ομοιοπολικούς δεσμούς, την πολικότητα των δεσμών και άλλες μορφές δεσμών με αυτή τη σειρά. Η 4^η ενότητα, «Συσχετίζοντας το είδος του δεσμού με τις μεταβολές στη χημεία», εξετάζει τη διάλυση, την τήξη και τον βρασμό και τη σχέση των δεσμών με χημικές αντιδράσεις.

Με βάση το μοντέλο του Taber (2001b) και τη βιβλιογραφία, οι Lee και Cheng (2014) πρότειναν ένα σχέδιο για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών σε μαθητές της δέκατης βαθμίδας. Σε αυτό το σχέδιο διδασκαλίας, κάθε θέμα ξεκινούσε εξετάζοντας τις ιδιότητες των ουσιών σε μακροσκοπικό επίπεδο και κατόπιν εξέταζε τις δομές σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η προτεινόμενη σειρά διδασκαλίας:

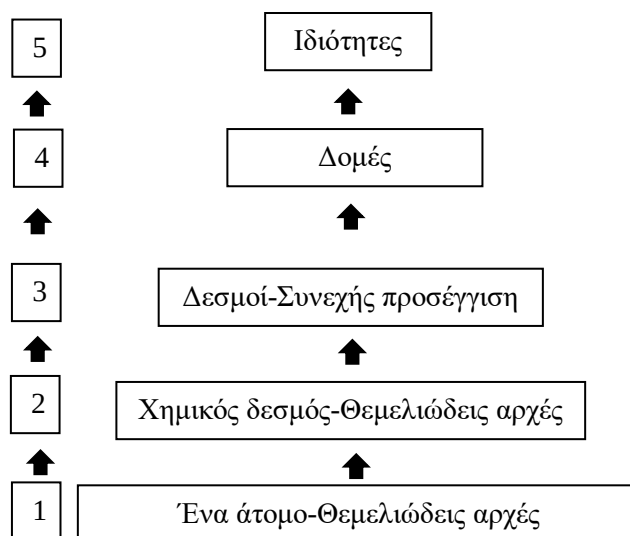
1. Γιγαντιαίες μεταλλικές κατασκευές (ιδιότητες μετάλλων και μεταλλικός δεσμός).
2. Γιγαντιαίες ιοντικές δομές (ιδιότητες αλάτων, ιοντικός δεσμός και ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις).
3. Γιγαντιαίες ομοιοπολικές δομές (ιδιότητες γιγάντιων ομοιοπολικών δομών, το παράδειγμα του διαμαντιού και ομοιοπολικός δεσμός).
4. Απλές μοριακές δομές (ιδιότητες απλών μοριακών ουσιών και η φύση της δύναμης/δεσμού van der Waals).
5. Μόρια

Το παραπάνω σχέδιο διδασκαλίας παραδόθηκε σε μια τάξη δεκαπεντάχρονων μαθητών της δέκατης βαθμίδας στο Χονγκ Κονγκ, με τη διδασκαλία να περιλαμβάνει ένα δίωρο μάθημα κάθε εβδομάδα για μια περίοδο 8 εβδομάδων. Διεξήχθησαν σε βάθος συνεντεύξεις με τρεις μαθητές των οποίων η επίδοση στη χημεία ήταν στο πρώτο 20ο, 50ο και 70ο εκατοστημόριο του μαθητικού πληθυσμού στο Χονγκ Κονγκ αντίστοιχα. Οι τρεις κατά περίπτωση μελέτες αποκάλυψαν ότι το μοντέλο σπουδών που προτάθηκε από τον Taber (2001b) ήταν χρήσιμο για την ανάπτυξη της κατανόησης των χημικών δεσμών από τους μαθητές. Διαπιστώθηκε όμως ότι η εκμάθηση ορισμένων βασικών αρχών των δυνάμεων Coulomb παρουσίασε μικρή δυσκολία, έτσι η εφαρμογή αυτών των αρχών στην κατανόηση των χημικών δεσμών δεν ήταν πάντα επιτυχής. Αυτό ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην εκμάθηση του ομοιοπολικού δεσμού από τον μαθητή με τις χαμηλότερες επιδόσεις.

Οι Levy Nahum και συν. (2007) ανέπτυξαν «μια νέα διδακτική προσέγγιση για την έννοια του χημικού δεσμού ευθυγραμμισμένη με την τρέχουσα επιστημονική και παιδαγωγική γνώση». Υιοθετήθηκε μια ποιοτική περιγραφή που είναι εννοιολογικά συνεπής με την κβαντομηχανική. Αυτό, σύμφωνα με τους συγγραφείς, έδωσε μια πολύ σαφή, διαισθητική απάντηση στο ερώτημα που προβληματίζει πολλούς μαθητές, «τι πραγματικά προκαλεί τα άτομα να αλληλεπιδρούν και να σχηματίζουν έναν χημικό δεσμό;». Με βάση τα ευρήματα της μελέτης τους, οι συγγραφείς

πρότειναν τη λεγόμενη προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω» (bottom up approach) για τη διδασκαλία της έννοιας του χημικού δεσμού. Σύμφωνα τους συγγραφείς, «Η παραδοσιακή παιδαγωγική προσέγγιση για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών («από πάνω προς τα κάτω» / top down approach) είναι συχνά υπερβολικά απλοϊκή και δεν ευθυγραμμίζεται με τα πιο ενημερωμένα επιστημονικά μοντέλα. Ως αποτέλεσμα, οι μαθητές λυκείου σε όλο τον κόσμο δεν έχουν θεμελιώδη κατανόηση των χημικών δεσμών» (Levy Nahum και συν., 2007, σελ. 579). Το Σχήμα 2.1 παρέχει μια σχηματική απεικόνιση του πλαισίου «από κάτω προς τα πάνω» (Kronik, Levy Nahum, Mamlok-Naaman & Hofstein, 2008, σελ. 1682). Η ουσία της πρότασης είναι ότι ο χημικός δεσμός θα πρέπει να διδάσκεται με βάση στοιχειώδεις αρχές και χρησιμοποιώντας την ιδέα μιας συνέχειας των χημικών δεσμών. Επομένως, το νέο πλαίσιο καταργεί την τεχνητή διχοτόμηση μεταξύ των διαφορετικών τύπων χημικού δεσμού. Οι κύριες έννοιες και ιδέες παρουσιάζονται στους μαθητές σε πέντε στάδια. Η προσέγγιση περιγράφηκε περαιτέρω σε επόμενες δημοσίευσεις: Kronik και συν. (2008), Levy Nahum και συν. (2010) και Levy Nahum, Mamlok-Naaman και Hofstein (2013).

Στάδιο



Σχήμα 2.1: Μια σχηματική απεικόνιση του πλαισίου «από κάτω προς τα πάνω» για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών.

Οι Dhindsa και Treagust (2014) ασχολήθηκαν με την ψυχολογική οργάνωση του περιεχομένου της χημείας. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών θα πρέπει να προσεγγίζουν τη γνώση με αυξανόμενο βαθμό δυσκολίας, σύμφωνα πάντα με τη νοητική ανάπτυξη των μαθητών. Προκειμένου ένας μαθητής να μεταβεί σε ένα περιεχόμενο υψηλότερου γνωστικού επιπέδου θα πρέπει πρώτα να έχει «κατακτήσει» την προηγούμενη γνώση. Εστιάζοντας στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και στο πρώτο έτος του προπτυχιακού επίπεδου, οι συγγραφείς υποστήριζαν ότι ο χημικός δεσμός δεν διδάσκεται με το σωστό τρόπο τόσο στην δευτεροβάθμια όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, ενώ οι εξηγήσεις που δίνονται είναι συχνά «ελλιπείς και υπεραπλουστευμένες». Ο χημικός δεσμός συνήθως διδάσκεται με την εξής σειρά: ιοντικός, ομοιοπολικός, πολικός ομοιοπολικός, μεταλλικός και διαμοριακός δεσμός. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, τα κύρια προβλήματα του τρόπου διδασκαλίας του χημικού δεσμού περιλαμβάνουν: 1. Η ακολουθία του ιοντικού, μη πολικού ομοιοπολικού και ομοιοπολικού πολικού δεν είναι η κατάλληλη για αποτελεσματική και διατηρήσιμη μάθηση, 2. αυτές οι έννοιες δεν είναι σωστά συνδεδεμένες για να δείξουν μια συνέχεια (ένα φάσμα) του χημικού δεσμού, 3. τα δεδομένα ηλεκτραρνητικότητας χρησιμοποιούνται μόνο για να περιγράψουν τον πολικό ομοιοπολικό δεσμό και όχι άλλου τύπου δεσμούς, 4. στον ιοντικό δεσμό κανένας μηχανισμός δεν περιγράφει μεταφορά ηλεκτρονίου/-ων από ένα άτομο σε ένα άλλο. Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτή τη σειρά διδασκαλίας, οι συγγραφείς, πρότειναν την ακόλουθη νέα σειρά διδασκαλίας (τριών σταδίων): (1) ομοιοπολικός, πολικός ομοιοπολικός και ιοντικός δεσμός, (2) ο χημικός δεσμός στα πλέγματα: μεταλλικός δεσμός και κρύσταλλοι και (3) διαμοριακός δεσμός. Οι Dhindsa και Treagust στην εργασία τους εστίασαν στα στάδια 1 και 2.

2.3.3. Μελέτες που σχετίζονται με συγκεκριμένες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μελέτες που ασχολήθηκαν με συγκεκριμένες προσεγγίσεις στη διδασκαλία του χημικού δεσμού. Πιο συγκεκριμένα οι προσεγγίσεις αυτές συσχετίζονται με την επίδραση: (1) της συνεργατικής μάθησης, (2) της μάθησης η οποία στηρίζεται στο πρόβλημα, (3) ενός διαδικτυακού μαθησιακού περιβάλλοντος, (4) των δραστηριοτήτων που εφαρμόζονται στη διδασκαλία και βασίζονται στη μοντελοποίηση, (5) της διδασκαλίας της προσανατολισμένης στην

εννοιολογική αλλαγή και στην εννοιολογική κατανόηση των εννοιών των χημικών δεσμών, (6) της συνεργατικής μάθησης μέσω πάζλ (jigsaw) και (7) των τεχνικών κινούμενων σχεδίων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι Acar και Tarhan (2008) διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας, χρησιμοποιώντας διδακτικό υλικό που αναπτύχθηκε πρόσφατα και βασίζεται στη συνεργατική μάθηση. Σε σύγκριση που πραγματοποιήθηκε με μια παραδοσιακή προσέγγιση με μαθητές της ένατης βαθμίδας, ανέφεραν ότι οι μαθητές παρουσίασαν καλύτερη κατανόηση του μεταλλικού δεσμού. Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 57 μαθητές. Ο ίδιος εκπαιδευτικός δίδαξε τον μεταλλικό δεσμό με συνεργατική μάθηση σε μια ομάδα μεθοδολογίας (N=28) και με μια παραδοσιακή δασκαλοκεντρική προσέγγιση σε μια ομάδα ελέγχου (N=29). Οι μαθητές της ομάδας μεθοδολογίας εμφάνισαν μέση βαθμολογία σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με τους μαθητές της ομάδας ελέγχου. Οι μαθητές της ομάδας μεθοδολογίας παρουσίασαν λιγότερες λανθασμένες αντιλήψεις, που σχετίζονται με το μεταλλικό δεσμό, σε σχέση με τους μαθητές της ομάδας ελέγχου.

Οι Tarhan και συν. (2008) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα μιας προσέγγισης μάθησης βάσει προβλημάτων (problem-based learning, PBL) στην κατανόηση των διαμοριακών δυνάμεων (δυνάμεις διπόλου-διπόλου, δυνάμεις διασποράς London και δεσμοί υδρογόνου) από μαθητές της ένατης βαθμίδας. Μετρήθηκαν επίσης οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τους διαμοριακούς δεσμούς και οι απόψεις τους σχετικά με την προσέγγιση της μάθησης βάσει προβλημάτων που εφαρμόστηκε. Στην έρευνα συμμετείχαν 78 μαθητές που χωρίστηκαν τυχαία σε ομάδες μεθοδολογίας (εφαρμόστηκε η PLB) και ομάδες ελέγχου (εφαρμόστηκε διδασκαλία τύπου διάλεξης). Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας, χορηγήθηκε ένα τεστ και ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με την ποιότητα του προβλήματος, το ρόλο του εκπαιδευτικού και τη λειτουργία της ομάδας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσέγγιση που εφαρμόστηκε ήταν ευεργετική για την επίδοση των μαθητών, περιόρισε τη δημιουργία εναλλακτικών αντιλήψεων και ανέπτυξε κοινωνικές δεξιότητες.

Οι Frailich, Kesner και Hofstein (2009) ερεύνησαν την αποτελεσματικότητα ενός διαδικτυακού μαθησιακού περιβάλλοντος στην ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών της δέκατης βαθμίδας του λυκείου σχετικά με την έννοια του χημικού δεσμού. Στη μελέτη συμμετείχαν δύο ομάδες: μια ομάδα μεθοδολογίας (N=161) και μία ομάδα ελέγχου (N=93). Οι εκπαιδευτικοί πραγματοποίησαν τέσσερις

δραστηριότητες που προέρχονταν από έναν ιστότοπο και ασχολούνταν με την έννοια του χημικού δεσμού. Χρησιμοποιήθηκαν οπτικά μοντέλα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με σκοπό να καταδειχθούν ο χημικός δεσμός και η δομή της ύλης σε ένα μαθησιακό περιβάλλον με επίκεντρο τον μαθητή. Δόθηκαν σε όλους τους μαθητές ερωτηματολόγια επίδοσης και πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις τόσο με καθηγητές όσο και με μαθητές. Διαπιστώθηκε τελικά ότι η ομάδα μεθοδολογίας ξεπέρασε σημαντικά την ομάδα ελέγχου στο τεστ που πραγματοποιήθηκε.

Οι Cardoso, Mendonça και Justi (2011) χρησιμοποίησαν διδακτικές δραστηριότητες βασισμένες στη μοντελοποίηση για τους ιοντικούς δεσμούς και τις εισήγαγαν σε μια τάξη μεσαίου επιπέδου σε δημόσιο σχολείο της Βραζιλίας (μαθητές 16–18 ετών). Ο ιοντικός δεσμός επιλέχθηκε λόγω της μεγάλης συχνότητας εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών αλλά και λόγω της αφηρημένης φύσης του. Τα παραπάνω δικαιολογούν την ανάγκη κατανόησης πολύπλοκων μοντέλων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν το γραπτό υλικό και τα μοντέλα που παρήγαγαν οι μαθητές, τα τεστ περιεχομένου-γνώσης, η βιντεοσκόπηση των μαθημάτων, οι παρατηρήσεις και σημειώσεις τόσο του δασκάλου όσο και του ερευνητή που παρατήρησε τα μαθήματα. Από τα δεδομένα αυτά, αναπτύχθηκαν μελέτες περιπτώσεων για καθεμία από τις ομάδες μαθητών. Η ανάλυση μιας από τις μελέτες περίπτωσης παρείχε στοιχεία σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο συγκεκριμένα στοιχεία της διδασκαλίας υποστήριζαν τη μάθηση των μαθητών.

Οι Pabuşcu και Geban (2012) διερεύνουν την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας που είναι προσανατολισμένη στην εννοιολογική αλλαγή στην εννοιολογική κατανόηση των εννοιών των χημικών δεσμών από τους μαθητές. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η σχεδίαση μιας πειραματικής μεθόδου. Στην έρευνα συμμετείχαν 41 μαθητές της ένατης βαθμίδας (20 αγόρια και 21 κορίτσια) από δύο τάξεις ενός μαθήματος χημείας σε αστικό λύκειο. Το ηλικιακό εύρος των μαθητών ήταν περίπου 14-15 ετών. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε ομάδα ελέγχου (N=20) και σε ομάδα μεθοδολογίας (N=21) με τυχαίο τρόπο. Η ομάδα ελέγχου διδάχθηκε με τον παραδοσιακό τρόπο και με τη χρήση του σχολικού εγχειριδίου, αντίθετα για την ομάδα μεθοδολογίας χρησιμοποιήθηκαν τα κείμενα εννοιολογικής αλλαγής και το μοντέλο διδασκαλίας με αναλογίες. Χρησιμοποιήθηκαν ημιδομημένες συνεντεύξεις για να εξεταστεί λεπτομερώς η κατανόηση των μαθητών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η διδασκαλία που ήταν προσανατολισμένη στην εννοιολογική αλλαγή βοήθησε περισσότερο στην κατανόηση των εννοιών του χημικού δεσμού.

Τέλος, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση του φύλου των μαθητών στην κατανόηση εννοιών και στις στάσεις τους γενικότερα.

Οι Ataman και Kemal (2013) προσδιόρισαν την επίδραση της συνεργατικής μάθησης μέσω πάζλ (jigsaw) και των τεχνικών κινούμενων σχεδίων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή στις επιδόσεις πρωτοετών φοιτητών που παρακολουθούσαν μαθήματα στα οποία διδάσκονταν η ενότητα του χημικού δεσμού στο μάθημα της γενικής χημείας. Στην έρευνα συμμετείχαν 115 πρωτοετείς φοιτητές φυσικών επιστημών που παρακολούθησαν τα μαθήματα στα οποία διδάχθηκε η ενότητα του χημικού δεσμού το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές ομάδες, στις οποίες οι φοιτητές κατανεμήθηκαν τυχαία. Μια ομάδα ήταν η ομάδα συνεργατικής μάθησης μέσω πάζλ (jigsaw), η δεύτερη η ομάδα κινούμενων σχεδίων και η τρίτη η ομάδα ελέγχου, στην οποία εφαρμόστηκε η παραδοσιακή μέθοδος διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διδασκαλία του χημικού δεσμού μέσω των τεχνικών κινούμενων σχεδίων και πάζλ (jigsaw) είχε ως αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερων ακαδημαϊκών επιδόσεων σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο διδασκαλίας. Επιπλέον, οι φοιτητές που προέρχονταν από την ομάδα κινούμενων σχεδίων κατανόησαν καλύτερα τη σωματιδιακή φύση της ύλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΕΡΕΥΝΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΜΕ ΜΑΘΗΤΕΣ Α΄ ΛΥΚΕΙΟΥ

3.1. Η παρούσα έρευνα

Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήσαμε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο αξιολόγησης για το χημικό δεσμό. Το ερωτηματολόγιο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο προκειμένου να αξιολογηθεί η κατανόηση των μαθητών σχετικά με κάποιες βασικές έννοιες που σχετίζονται με το χημικό δεσμό. Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε την ηλεκτραρνητικότητα, τον κανόνα των οκτώ, τις δομές Lewis, τις δυνάμεις Coulomb, την πολικότητα δεσμών κ.ά. Η έρευνα αυτή επικεντρώνεται στον ομοιοπολικό και ιοντικό (ετεροπολικό) δεσμό.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε τη σχολική χρονιά 2014 – 2015 από τον υποψήφιο διδάκτορα (Ευάγγελος Πύργας) σε γενικό λύκειο δημοσίου σχολείου, μικρής επαρχιακής πόλης. Στην έρευνα συμμετείχαν οι μαθητές τεσσάρων τμημάτων της Α΄ τάξης Λυκείου (ηλικίες 15 – 16 ετών).

Τα τέσσερα τμήματα χωρίστηκαν σε τμήματα «ελέγχου» και τμήματα «μεθοδολογίας». Ο διαχωρισμός αυτός έγινε από τον Ευάγγελο Πύργα, ο οποίος και δίδασκε στα τμήματα αυτά. Τα τμήματα αποτελούνταν από 20 (είκοσι) περίπου μαθητές το κάθε ένα. Σκοποί των ερωτηματολογίων της έρευνας ήταν οι ακόλουθοι:

α) Να διερευνηθεί σε τι βαθμό οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (λυκείου) έχουν παρανοήσεις που σχετίζονται με τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό.

β) Ποια θα είναι η επίδραση ενός «διδακτικού υλικού» (βλ. Παράρτημα Ι), που βασίστηκε στο σχολικό εγχειρίδιο χημείας, στην παρεμπόδιση των παρανοήσεων στην περίπτωση των μαθητών που είχαν επιτύχει μέτριους έως υψηλούς βαθμούς στα ερωτηματολόγια της αξιολόγησης.

3.2. Το διδακτικό υλικό

Στη διδασκαλία του χημικού δεσμού χρησιμοποιήθηκε και στα τέσσερα τμήματα το σχολικό βιβλίο χημείας για την Α΄ Λυκείου (*Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος*. Χημεία Α΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας, 2014). Το βιβλίο αυτό είχε παραχθεί από το πρώην «Παιδαγωγικό Ινστιτούτο» (το σημερινό: «Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής») και διδάσκεται μέχρι σήμερα Πανελλαδικά σε όλα τα σχολεία.

Στα δύο τμήματα «ελέγχου» διδάχθηκε ο χημικός δεσμός χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Στα τμήματα αυτά ακολουθήθηκε πιστά το σχολικό εγχειρίδιο, τόσο από άποψη περιεχομένου, όσο και από την άποψη της σειράς με την οποία διδάχθηκαν βασικές έννοιες (π.χ. στο σχολικό βιβλίο εισάγεται πρώτα η έννοια του ιοντικού δεσμού και κατόπιν του ομοιοπολικού, επίσης τα δύο αυτά είδη δεσμού παρουσιάζονται με έναν τρόπο που τους κάνει να φαίνονται τελείως «αποκομμένοι» μεταξύ τους και όχι ο ένας ως συνέχεια του άλλου).

Στα δύο τμήματα «μεθοδολογίας» ακολουθήθηκε για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών το «διδακτικό υλικό» (βλ. Παράρτημα Ι, το οποίο περιλαμβάνει και ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα). Το υλικό αυτό, αν και ενσωμάτωσε αρκετά στοιχεία από το σχολικό βιβλίο, διέφερε σε αρκετά σημεία από αυτό (περιείχε περισσότερες και επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με το σχολικό βιβλίο και η δομή / εμφάνισή του ήταν διαφορετική). Για το λόγο αυτό, το υλικό δεν μοιράστηκε στους μαθητές για να μην τους προκαλέσει σύγχυση, συγκρίνοντάς το με το σχολικό βιβλίο. Ο διδάσκων σε αυτή την περίπτωση προέτρεψε τους μαθητές, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, να κρατούν σημειώσεις στα τετράδιά τους. Επίσης τα έγχρωμα σχήματα ή οι εικόνες (βλ. Παράρτημα 3.1 στο τέλος του κεφαλαίου) τα οποία ήταν αδύνατο να καταγραφούν στον πίνακα, μοιράστηκαν με τη μορφή έγχρωμων φωτοαντιγράφων στους μαθητές των τμημάτων «μεθοδολογίας». Τέλος στα σημεία που υπήρχε ταύτιση περιεχομένου ανάμεσα στο σχολικό βιβλίο και το «διδακτικό υλικό» οι μαθητές χρησιμοποιούσαν το σχολικό τους βιβλίο. Στην τελευταία περίπτωση βέβαια (όταν οι μαθητές χρησιμοποιούσαν το σχολικό βιβλίο και δεν κρατούσαν σημειώσεις από τον πίνακα) έγιναν και οι κατάλληλες παρεμβάσεις, όπου κρίνονταν απαραίτητο, στο περιεχόμενο του σχολικού βιβλίου έτσι ώστε να είναι ίδιο με το «διδακτικό υλικό». Πιο συγκεκριμένα οι μαθητές, με την υπόδειξη του διδάσκοντος, σημείωσαν πάνω στα σχολικά τους βιβλία επιπλέον πληροφορίες που αναφέρονταν στο «διδακτικό υλικό»

αλλά όχι στα σχολικά τους βιβλία, π.χ. στα χαρακτηριστικά των ιοντικών ενώσεων το σχολικό βιβλίο δεν αναφέρει καθόλου παραδείγματα. Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι έγινε και η κατάλληλη αναδιάταξη της ύλης, δηλαδή αν και στο σχολικό βιβλίο μελετάται πρώτα ο ιοντικός δεσμός, οι μαθητές του τμήματος «μεθοδολογίας» διδάχθηκαν πρώτα τον ομοιοπολικό δεσμό και κατόπιν τον ιοντικό, με τρόπο που δείχνει ότι ο ένας αποτελεί συνέχεια του άλλου και όχι έννοιες διαφορετικές μεταξύ τους.

Σε όλα τα τμήματα «ελέγχου» και «μεθοδολογίας» διδάχθηκαν οι ίδιες ερωτήσεις, ασκήσεις και προβλήματα, τα οποία περιέχονται στο σχολικό βιβλίο.

Όσον αφορά τα βασικά χαρακτηριστικά και τις διαφορές μεταξύ του σχολικού βιβλίου και του «διδακτικού υλικού» θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το «διδακτικό υλικό» είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο υλικό του σχολικού βιβλίου, δηλαδή το πρώτο είναι 15 σελίδες ενώ το δεύτερο 10. Μπορούμε επίσης για μια πιο λεπτομερή σύγκριση να σημειώσουμε τα ακόλουθα:

i) *Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις*: Στο σχολικό βιβλίο δεν αναφέρεται πουθενά ο όρος «ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις», αλλά η ενότητα του ετεροπολικού δεσμού αναφέρεται σε «ηλεκτροστατικές δυνάμεις Coulomb». Το «διδακτικό υλικό» αναφέρεται σε «ηλεκτρικές δυνάμεις (ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις)», στο «νόμο του Coulomb», σε «δυνάμεις Coulomb» και σε «δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης (Coulomb)».

ii) *Κανόνας των οκτώ*: Το σχολικό βιβλίο αναφέρει ότι ο κανόνας των οκτώ είναι ο κύριος λόγος δημιουργίας των χημικών δεσμών. Αντίθετα στο «διδακτικό υλικό» γίνεται μια πιο λεπτομερής αναφορά στον κανόνα των οκτώ. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι δεν είναι ο συγκεκριμένος κανόνας, αυτό καθ' εαυτόν που «επιβάλλει» τη δημιουργία του χημικού δεσμού, αλλά η ενεργειακή σταθερότητα που συνεπάγεται από την δημιουργία αυτού. Επίσης αναφέρεται ότι παρατηρούνται και αποκλίσεις από τον κανόνα των οκτώ. Τέλος ότι ο κανόνας των οκτώ βοηθάει: (α) στην ερμηνεία του αριθμού των ομοιοπολικών δεσμών ανάμεσα σε δύο άτομα, και (β) στη στοιχειομετρία του μορίου της ένωσης. Εξάλλου, στις ιοντικές ενώσεις ο κανόνας των οκτώ εξηγεί τα φορτία των ιόντων.

iii) *Ηλεκτραρνητικότητα*: Στο σχολικό βιβλίο εισάγεται η έννοια της ηλεκτραρνητικότητας στον ομοιοπολικό δεσμό, με σκοπό να γίνει διάκριση μεταξύ πολωμένου και μη πολωμένου ομοιοπολικού δεσμού. Αντίθετα στο «διδακτικό υλικό» γίνεται μια πιο εκτενής αναφορά και εισάγεται και η κλίμακα Pauling (με τον

αντίστοιχο Περιοδικό Πίνακα). Δίνονται στους μαθητές ασκήσεις υπολογισμού διαφορών ηλεκτραρνητικοτήτων τόσο σε ιοντικές όσο και σε ομοιοπολικές χημικές ενώσεις. Προσεγγίζονται έτσι οι δεσμοί αυτοί όχι ως δύο ακραίες περιπτώσεις αλλά ως ένα συνεχές δεσμών.

iv) *Πόλωση δεσμού*: Το σχολικό βιβλίο δεν αναφέρεται στις έννοιες «πόλωση» ή «πόλωση δεσμού», σε αντίθεση με το «διδασκτικό υλικό» που αναφέρεται αναλυτικά σε αυτές. Και τα δύο ωστόσο αναφέρονται διεξοδικά σε πολωμένους και μη πολωμένους ομοιοπολικούς δεσμούς.

v) *Δομές Lewis*: Στο «διδασκτικό υλικό» οι ηλεκτρονιακοί τύποι αναφέρονται και ως δομές Lewis.

vi) *Ομοπυρηνικά μόρια / ετεροπυρηνικός δεσμός*: Στο «διδασκτικό υλικό» τα διατομικά μόρια ίδιων ατόμων αναφέρονται και ως «ομοπυρηνικά μόρια» ενώ ο χημικός δεσμός ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα αναφέρεται και ως «ετεροπυρηνικός δεσμός».

vii) *Παραδείγματα για καλύτερη κατανόηση*: Στο σχολικό βιβλίο δεν αναφέρονται σε αρκετές περιπτώσεις και τα αντίστοιχα παραδείγματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα χαρακτηριστικά των ιοντικών και ομοιοπολικών ενώσεων, όπου δεν δίνονται σχεδόν καθόλου παραδείγματα, σε αντίθεση με το «διδασκτικό υλικό» όπου δίνονται και τα αντίστοιχα παραδείγματα για καλύτερη κατανόηση.

viii) *Μήκος χημικού δεσμού*: Στο σχολικό βιβλίο δεν αναφέρεται καθόλου η έννοια του μήκους του χημικού δεσμού, αντίθετα στο «διδασκτικό υλικό» γίνεται αναλυτική αναφορά και συσχέτιση (μέσω διαγράμματος) με την τιμή της δυναμικής ενέργειας.

ix) *Ηλεκτρονιακό νέφος*: Στο σχολικό βιβλίο εισάγεται η έννοια των ηλεκτρονιακών στοιβάδων, όχι όμως αυτή του ηλεκτρονιακού νέφους. Αντίθετα στο «διδασκτικό υλικό» γίνεται εκτενής αναφορά και στην έννοια του ηλεκτρονιακού νέφους, με αναφορά στην σύγχρονη θεωρητική χημεία (κβαντική χημεία) και με την χρήση κατάλληλων σχημάτων πυκνότητας ηλεκτρονιακού νέφους.

3.3. Η «ιστορία» του διδακτικού υλικού

Το διδακτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα προέρχεται από την τροποποίηση/επεξεργασία ενός εκπαιδευτικού υλικού το οποίο διδάχθηκε σε

τμήματα μαθητών της α' λυκείου (πειραματικές ομάδες), το σχολικό έτος 2012 – 2013, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της κ. Ελένης Παππά. Το εκπαιδευτικό υλικό συντάχθηκε από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Τσαπαρλή, για τη σύνταξη του οποίου έλαβε υπόψη αφενός την εκπαιδευτική ερευνητική βιβλιογραφία τη σχετική με το θέμα των χημικών δεσμών και αφετέρου τις προσωπικές επιστημονικές του γνώσεις για το θέμα αυτό. Επίσης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στα ευρήματα της μελέτης από τους Tsaparlis και Pappa (2012) για τον τρόπο με τον οποίο τα σχολικά βιβλία γενικής χημείας παρουσιάζουν το θέμα των χημικών δεσμών.

Αρχικά δοκιμάστηκε μια πρώτη έκδοση του υλικού από δύο καθηγητές χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με μαθητές α' λυκείου και με αυτό τον τρόπο δόθηκε μια ανατροφοδότηση σχετικά με τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία του υλικού. Κατά τη συγγραφή μιας δεύτερης έκδοσης του υλικού ελήφθησαν υπόψη τα σχόλια των εκπαιδευτικών. Κατόπιν το υλικό εξετάστηκε από τους δύο εκπαιδευτικούς και από έναν τρίτο εκπαιδευτικό. Από τα σχόλια των τριών εκπαιδευτικών αναθεωρήθηκε το υλικό και έτσι προέκυψε το εκπαιδευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2012 – 2013 στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της κ. Ελένης Παππά.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τρία δημόσια και ένα ιδιωτικό λύκειο, αλλά και σε δύο πανεπιστημιακά τμήματα με πρωτοετείς φοιτητές. Η ερευνητική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε δύο κύκλους:

1. Στον α' κύκλο δεν πραγματοποιήθηκε παρέμβαση κατά τη διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού. Στην περίπτωση αυτή στην έρευνα συμμετείχαν: τέσσερα τμήματα τριών δημοσίων λυκείων, δύο τμήματα ενός ιδιωτικού λυκείου και δύο πανεπιστημιακά τμήματα. Σε αυτή την περίπτωση οι καθηγητές δίδαξαν το κεφάλαιο του χημικού δεσμού χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο, χωρίς να τους δοθεί επιπρόσθετο υλικό. Κατόπιν δόθηκαν ερωτηματολόγια τα οποία συμπληρώθηκαν από τους εκπαιδευόμενους.
2. Στον β' κύκλο, πραγματοποιήθηκε παρέμβαση σε δύο σχολεία (δημόσια λύκεια). Κάθε σχολείο είχε μία ομάδα ελέγχου στην οποία διδάχτηκε το κεφάλαιο του χημικού δεσμού αποκλειστικά χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο και μία πειραματική ομάδα, στην οποία ο χημικός δεσμός διδάχτηκε χρησιμοποιώντας το εκπαιδευτικό υλικό (σε κάθε μαθητή που άνηκε σε τμήμα πειραματικής ομάδας δόθηκε ένα έντυπο φυλλάδιο του εκπαιδευτικού υλικού,

οι μαθητές όμως της πειραματικής ομάδας είχαν στη διάθεσή τους και το σχολικό εγχειρίδιο). Σκοπός σε αυτή την περίπτωση ήταν να διδαχτούν οι μαθητές των δύο δημόσιων σχολείων (τεσσάρων τμημάτων) με δύο διαφορετικούς τρόπους. Στη συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας του κεφαλαίου του χημικού δεσμού, δόθηκαν τα ίδια ερωτηματολόγια με τον α' κύκλο και στους μαθητές των τεσσάρων τμημάτων. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο κάθε εκπαιδευτικός για τη διδασκαλία του κεφαλαίου του χημικού δεσμού αφιέρωσε τέσσερις διδακτικές ώρες για κάθε τμήμα.

Τη σχολική χρονιά 2014–2015 το εκπαιδευτικό υλικό τροποποιήθηκε από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Τσαπαρλή, και ήρθε στην τελική του μορφή μετά από συνεχή επικοινωνία με τον Ευάγγελο Πύργα. Το τελικό «διδακτικό υλικό» χρησιμοποιήθηκε σε έρευνα διδακτικής παρέμβασης στο κεφάλαιο του χημικού δεσμού από τον υποψήφιο διδάκτορα (Ευάγγελος Πύργας) σε γενικό λύκειο δημοσίου σχολείου στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής (βλ. ενότητες 3.1 & 3.2).

Το διδακτικό υλικό, που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα μας το σχολικό έτος 2014–2015 και το εκπαιδευτικό υλικό, που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα της κ. Παππά τη σχολική χρονιά 2012–2013, παρουσιάζουν μεταξύ τους σημαντικές ομοιότητες αλλά και διαφορές.

(I) Οι διαφορές εντοπίζονται ως προς:

1. Την έκτασή τους και τη δομή τους: το υλικό της έρευνάς μας είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος, 15 σελίδες, έναντι 11 που έχει το προγενέστερο εκπαιδευτικό υλικό. Επίσης χρησιμοποιούνται περισσότερες έγχρωμες εικόνες, σχήματα και γίνεται χρήση κειμένων εντός πλαισίου. Σε γενικές γραμμές όμως μπορούμε να πούμε ότι τα δύο διδακτικά υλικά έχουν την ίδια περίπου δομή (όσον αφορά την εμφάνισή τους).
2. Το περιεχόμενό τους: (α) το υλικό της έρευνάς μας έχει ενσωματώσει κείμενα, πίνακες και σχήματα που βρίσκονται και στο σχολικό βιβλίο. Αντίθετα το εκπαιδευτικό υλικό της προηγούμενης έρευνας αποτελείται από δύο μέρη, το πρώτο (7 σελίδες) αποτελείται από κείμενο και σχήματα που δεν υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο, ενώ το δεύτερο (4 σελίδες) αποτελείται αποκλειστικά από στοιχεία του σχολικού βιβλίου που πρέπει να προστεθούν στη διδακτική παρέμβαση, (β) στο διδακτικό υλικό (της έρευνάς μας) σε σχέση με το εκπαιδευτικό υλικό (της προηγούμενης έρευνας), δεν αναφέρεται: ο τύπος της

δύναμης Coulomb σε σχέση με τα σημειακά φορτία και την απόσταση, όπως επίσης και ο τύπος της ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας που αντιστοιχεί στη δύναμη Coulomb, (γ) στο διδακτικό υλικό δεν δίνεται εννοιολογικός χάρτης που σχετίζεται με τη δομή του ατόμου, ούτε παραδείγματα που σχετίζονται με αυτόν, ούτε όμως εννοιολογικός χάρτης σχετικός με τα μοριακά, τα ιοντικά και τα μεταλλικά πλέγματα, (δ) δεν δίνεται αναλυτικό διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας, σε σχέση με τις ελκτικές και τις απωστικές συνιστώσες, (ε) δεν υπάρχει ξεχωριστή παράγραφος που να αναφέρεται στο μεταλλικό δεσμό, (στ) στο διδακτικό υλικό (της έρευνάς μας), επιπλέον υπάρχουν: έγχρωμες εικόνες [π.χ. για το F και για το Cs (μακροσκοπική απεικόνιση), απεικόνιση του χημικού δεσμού στα μέταλλα κ.ά.], Περιοδικός Πίνακας με τιμές ηλεκτραρνητικότητας των ατόμων κατά Pauling (ο οποίος και δόθηκε στους μαθητές όλων των τμημάτων την ημέρα διεξαγωγής του τεστ), σχήματα με ηλεκτρονιακούς και μοριακούς τύπους, ο ορισμός του μοριακού τύπου, υποενότητα που αναφέρεται στο σχηματισμό ιοντικών ενώσεων, έγχρωμες οπτικές αναπαραστάσεις (επιφάνειες ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας) με βάση θεωρητικούς (κβαντομηχανικούς υπολογισμούς) του ατόμου H και του μορίου H₂, του ατόμου Li και του Li⁺, της ιοντικής ένωσης LiH, της διάκρισης μη πολωμένου και πολωμένου ομοιοπολικού δεσμού και ερωτήσεις που σχετίζονται με οπτικές αναπαραστάσεις.

Τα δύο διδακτικά υλικά έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους, ακολουθούν όμως την ίδια διδακτική προσέγγιση όσον αφορά την έννοια του χημικού δεσμού (ύπαρξη συνέχειας μεταξύ ομοιοπολικού και ιοντικού δεσμού, ακολουθία διδασκαλίας των χημικών δεσμών, αποφυγή ανθρωπόμορφης γλώσσας κ.ά.).

(II) Οι ομοιότητες εντοπίζονται ως προς:

1. Την εισαγωγή στην ενότητα του χημικού δεσμού, ξεκινώντας από τη δύναμη Coulomb περιγράφοντάς τη και παρουσιάζοντας το αντίστοιχο σχήμα.
2. Την αναφορά στην ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.
3. Τη σειρά μελέτης των χημικών δεσμών, όπου εισάγεται πρώτα ο ομοιοπολικός δεσμός, κατόπιν ο ομοιοπολικός δεσμός ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα και τέλος ο ιοντικός δεσμός (στο εκπαιδευτικό υλικό, του σχολικού έτους 2012-13, εισάγεται και ο μεταλλικός δεσμός πριν από τον ιοντικό).

4. Τη μελέτη των χημικών δεσμών ως μια συνεχόμενη προσέγγιση [στο διδακτικό υλικό της έρευνάς μας γίνεται μια πιο εκτενής αναφορά (επιπλέον υπάρχουν: συμπεράσματα, πίνακας με σημεία τήξεως και μια άσκηση σύγκρισης διαφορών ηλεκτραρνηικοτήτων)].
5. Τη χρήση γραφικής παράστασης της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας σε ένα μόριο συναρτήσει της διαπυρηνικής απόστασης.
6. Τη χρήση μιας αναλογίας για το χημικό δεσμό: Ο χημικός δεσμός σαν ένα παιχνίδι διελκυστίδας.
7. Το κείμενο γενικά των δύο διδακτικών υλικών, που σε αρκετά σημεία είναι το ίδιο, απλώς μπορεί να αλλάζει η γραμματοσειρά, η παράγραφος ή η θέση που αυτό εντοπίζεται.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι, εκτός από τις ομοιότητες και τις διαφορές που είχαν τα συγκεκριμένα διδακτικά υλικά, υπήρξαν και άλλες σημαντικές διαφορές που είχαν οι δύο έρευνες, οι σχετικές με τη διδακτική παρέμβαση. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2012 – 2013 συμμετείχαν συνολικά τρία δημόσια σχολεία, ένα ιδιωτικό και πρωτοετείς φοιτητές από δύο πανεπιστημιακά τμήματα. Η συγκεκριμένη έρευνα έγινε σε δύο στάδια: στο πρώτο στάδιο δεν πραγματοποιήθηκε καμιά διδακτική παρέμβαση, ενώ στο δεύτερο στάδιο συμμετείχαν δύο δημόσια σχολεία με τέσσερα συνολικά τμήματα α' λυκείου (δύο ανά σχολείο) και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκε η διδακτική παρέμβαση στο ένα από τα δύο τμήματα του κάθε σχολείου. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις η διδασκαλία έγινε από τον κάθε εκπαιδευτικό που δίδασκε στο σχολείο του. Στις συνολικά δύο πειραματικές ομάδες μοιράστηκε το εκπαιδευτικό υλικό (οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους και το σχολικό εγχειρίδιο) και η διδασκαλία είχε διάρκεια τέσσερις διδακτικές ώρες. Αντίθετα στην έρευνά μας συμμετείχε ένα δημόσιο σχολείο με τέσσερα διαφορετικά τμήματα τα οποία χωρίστηκαν ανά δύο, σε τμήματα ελέγχου (χωρίς διδακτική παρέμβαση) και τμήματα μεθοδολογίας (με διδακτική παρέμβαση). Στους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας δεν δόθηκε έντυπο αντίγραφο του διδακτικού υλικού, ο εκπαιδευτικός όμως προέτρεψε τους μαθητές να κρατούν σημειώσεις για τις επιπλέον πληροφορίες που δεν αναφέρονταν στο σχολικό τους βιβλίο και δίδαξε το κεφάλαιο των χημικών δεσμών με βάση τη σειρά που ακολουθείται και στο διδακτικό υλικό. Στους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, δόθηκαν μόνο κάποια έγχρωμα σχήματα (βλ. Παράρτημα 3.1, στο τέλος του κεφαλαίου) που ήταν αδύνατο να απεικονιστούν στον πίνακα της σχολικής αίθουσας. Η διδασκαλία του κεφαλαίου

του χημικού δεσμού πραγματοποιήθηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα (Πύργα Ευάγγελο), ενώ η διδασκαλία του κεφαλαίου των χημικών δεσμών διήρκεσε 12 -13 διδακτικές ώρες (βλ. ενότητα 3.4). Επίσης τα εργαλεία αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στις δύο έρευνες ήταν διαφορετικά μεταξύ τους. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2012 -2013, μετά το πέρας της διδασκαλίας του χημικού δεσμού, στους μαθητές δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο που αποτελούνταν από δύο τμήματα (Μέρος Α & Μέρος Β), οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους, για τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, 60 λεπτά. Στην έρευνά μας, στους μαθητές μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας του κεφαλαίου του χημικού δεσμού δόθηκε ένα τεστ (γραφτή δοκιμασία) που αποτελούνταν από έξι θέματα (βλ. Παράρτημα 3.2, στο τέλος του κεφαλαίου) και είχε διάρκεια μια διδακτική ώρα (45 λεπτά). Τέλος, μετά τη βαθμολόγηση του τεστ, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας που είχαν τις καλύτερες βαθμολογικές επιδόσεις κλήθηκαν και έδωσαν μια προφορική συνέντευξη (βλ. ενότητα 3.20).

3.4. Κατανομή χρόνου για την διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού

Για τη διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού, όπως ακριβώς αναφέρεται στο σχολικό βιβλίο, προτείνονται, από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, πέντε (5) διδακτικές ώρες (με διάρκεια 45 λεπτά η κάθε μία). Στις παραπάνω διδακτικές ώρες, ο εκπαιδευτικός πέρα από τη θεωρία και τις εφαρμογές αυτής, θα πρέπει να συμπεριλάβει και τις ερωτήσεις/ασκήσεις του σχολικού βιβλίου. Στην πράξη βέβαια ο παραπάνω χρόνος που πρέπει να αφιερωθεί στη διδασκαλία του χημικού δεσμού είναι πολύ μικρός. Για το λόγο αυτό, αφιερώθηκε σημαντικά περισσότερος χρόνος διδασκαλίας προκειμένου η διδασκαλία του χημικού δεσμού να καλυφθεί με επάρκεια. Επίσης έγινε προσπάθεια από τον διδάσκοντα και στα τέσσερα (4) τμήματα (μεθοδολογίας και ελέγχου) να αφιερωθεί σχεδόν ο ίδιος χρόνος διδασκαλίας, έτσι ώστε να υπάρχει μια «ισονομία» όσον αφορά τον τομέα αυτό. Πιο συγκεκριμένα στα τμήματα αφιερώθηκαν στη διδασκαλία του χημικού δεσμού από 12 έως και 13 διδακτικές ώρες. Έτσι σε ένα τμήμα ελέγχου και ένα μεθοδολογίας αφιερώθηκαν από 13 διδακτικές ώρες, στο δεύτερο τμήμα ελέγχου 12,5 διδακτικές ώρες και στο δεύτερο τμήμα μεθοδολογίας 12. Δεδομένου ότι οι τελευταίες διδακτικές ώρες είναι μικρότερες των 45 λεπτών (40 ή 35 λεπτών), έγινε προσπάθεια από το διδάσκοντα να «ισοσταθμίσει» και αυτόν τον

παράγοντα – εξάλλου από το γεγονός αυτό προκύπτουν και οι 12,5 διδακτικές ώρες στο ένα τμήμα ελέγχου. Τέλος να σημειώσουμε ότι δεν δόθηκαν από κανέναν ειδικές οδηγίες στο διδάσκοντα σχετικά με τη μέθοδο διδασκαλίας, δηλαδή αυτός ακολούθησε τις συνήθεις πρακτικές διδασκαλίας του.

3.5. Το είδος των ερωτήσεων

Οι ερωτήσεις μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη δομή τους σε δύο ευρύτερες κατηγορίες: τις ερωτήσεις κλειστού τύπου και τις ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Οι ερωτήσεις κλειστού τύπου έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να εξετάζουν μεγαλύτερη ποσότητα της διδακτικής ύλης, χωρίς να απαιτούν εκτεταμένες απαντήσεις, το μειονέκτημά τους είναι όμως ότι υπεισέρχεται και ο παράγοντας τύχη, ενώ δεν μπορούν να εξετάσουν αν ο μαθητής έχει κατανοήσει αυτό που απαντά. Υπάρχουν πολυάριθμοι τύποι ερωτήσεων κλειστού τύπου (Macintosh and Morrison, 1969, Pappa and Tsaparlis, 2011). Στην περίπτωση της έρευνάς μας, χρησιμοποιήσαμε τις ερωτήσεις του τύπου σωστού/λάθους. Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι κάποιες ερωτήσεις σωστού/λάθος εμπεριείχαν και ερώτηση ανοικτού τύπου, δηλαδή αιτιολόγηση του σωστού ή του λάθους. Οι ερωτήσεις ανοικτού τύπου απαιτούν εκτεταμένες απαντήσεις και καλύπτουν συγκεκριμένο τμήμα της διδακτικής ύλης, έχουν όμως το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ελέγχουν την μάθηση υψηλότερου επιπέδου, όπως η συσχέτιση πληροφοριών, η εννοιολογική κατανόηση και η κριτική σκέψη. Επιτρέπουν στον μαθητή να χρησιμοποιεί τις γνώσεις και τις ιδέες του και ο εκπαιδευτικός να μπορεί να εξάγει ασφαλή συμπεράσματα για τον βαθμό της κατανόησης από τον μαθητή.

Οι Pearson και Johnson (1978) πρότειναν μια ταξινόμηση που είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την αξιολόγηση των ερωτήσεων (βλ. επίσης Pappa και Tsaparlis, 2011).

3.6. Το ερευνητικό μέσο

Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας της ενότητας του χημικού δεσμού, δόθηκε στους μαθητές ένα γραπτό μέσο αξιολόγησης (τεστ) που είχε ως τίτλο: «Ερωτηματολόγιο για τον Χημικό Δεσμό». Το τεστ αυτό πραγματοποιήθηκε την ίδια

μέρα για όλα τα τμήματα (και τα τέσσερα), έτσι ώστε να μην υπάρξει «διαρροή» θεμάτων. Επίσης για να αποφευχθεί η αντιγραφή μεταξύ των μαθητών που κάθονταν στο ίδιο θρανίο, χρησιμοποιήθηκαν δύο ισοδύναμες μορφές του τεστ (σειρά θεμάτων «Α» & σειρά θεμάτων «Β»). Χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το λόγο είτε διαφορετικές ερωτήσεις (ίδιου βαθμού δυσκολίας), είτε μια διαφορετική διάταξη των εννοιών και των ερωτήσεων.

Το τεστ αποτελούνταν από 6 (έξι) διαφορετικά θέματα. Χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις από την τράπεζα θεμάτων, αλλά και ερωτήσεις που είχαν παρόμοιο βαθμό δυσκολίας με αυτές του σχολικού βιβλίου. Μερικές ερωτήσεις απαιτούσαν κριτική ικανότητα, ενώ κάποιες ερωτήσεις έδιναν και επιπλέον μονάδες “bonus”. Η συνολική διάρκεια του τεστ ήταν όσο μια διδακτική ώρα, δηλαδή 45 λεπτά. Για να βοηθηθούν οι μαθητές προκειμένου να κάνουν πιο σωστό καταμερισμό του διαθέσιμου χρόνου τους δίπλα, σε κάθε θέμα υπήρχε και ένας ενδεικτικός χρόνος (ανάλογα με το βαθμό δυσκολίας). Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι για τη Β σειρά θεμάτων δεν λάβαμε υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών στο 2^ο θέμα. Αυτή η απόφαση προέκυψε από το γεγονός ότι δεν θα μπορούσε να απαντηθεί σωστά το θέμα αυτό με την συγκεκριμένη διδαχθείσα ύλη.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι τα τέσσερα τμήματα δεν ήταν της ίδιας «δυναμικότητας». Δηλαδή οι επιδόσεις των μαθητών τόσο σε προφορικές όσο και σε γραπτές αξιολογήσεις διέφεραν από τμήμα σε τμήμα. Για το λόγο αυτό, καταγράφηκαν οι επιδόσεις όλων των μαθητών στις τελικές προαγωγικές εξετάσεις του Ιουνίου, όπου οι μαθητές εξετάστηκαν γραπτώς στα 3/5 της διδαχθείσας ύλης. Τμήμα της ύλης των γραπτών προαγωγικών εξετάσεων αποτέλεσε και το κεφάλαιο του χημικού δεσμού. Οι επιδόσεις αυτές των μαθητών ελήφθησαν υπόψη ως μια επιπλέον παράμετρος της έρευνας, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε πιο ασφαλή συμπεράσματα.

3.7. Το βαθμολογικό σχήμα

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε το βαθμολογικό σχήμα που ακολουθήσαμε κατά την βαθμολόγηση των γραπτών δοκιμασιών (τεστ). Το βαθμολογικό σχήμα καθορίστηκε από τον επιβλέποντα καθηγητή σε συνεργασία και συμφωνία με τον υποψήφιο διδάκτορα. Η βαθμολόγηση έγινε από τον υποψήφιο διδάκτορα, ενώ έγινε

δειγματοληπτικός έλεγχος από τον επιβλέποντα καθηγητή που έκρινε αξιόπιστη τη βαθμολόγηση.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α

1Α) Τι είδους δεσμός αναπτύσσεται μεταξύ ${}^3\text{Li}$ και του χλωρίου ${}^{17}\text{Cl}$, ιοντικός ή ομοιοπολικός; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας περιγράφοντας τον τρόπο σχηματισμού του δεσμού.

0,5 μονάδες για σωστή απάντηση + 3,5 μονάδες για αιτιολόγηση απάντησης / περιγραφή του τρόπου σχηματισμού του δεσμού. Σύνολο 4 μονάδες.

2Α) Δίνονται τα στοιχεία: αργίλιο ${}^{13}\text{Al}$ και χλώριο ${}^{17}\text{Cl}$. Για το καθένα από τα δύο αυτά στοιχεία να γράψετε την κατανομή των ηλεκτρονίων του ατόμου του σε στιβάδες και στη συνέχεια, **υποθέτοντας ότι η χημική ένωση αργιλίου και χλωρίου είναι ομοιοπολική**, να αναφέρετε πόσοι ομοιοπολικοί δεσμοί αναμένετε να σχηματιστούν ανάμεσα στο άτομο του αργιλίου και στο άτομο του χλωρίου. Τέλος, να σχολιάσετε το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας στον σχολιασμό σας τον κανόνα του οκτώ.

Κατανομή ηλεκτρονίων σε στιβάδες: $0,25 \times 2 \text{ άτομα} = 0,5 \text{ μονάδες}$. Πόσοι ομοιοπολικοί δεσμοί: 1,5 μονάδα. Σχολιασμός αποτελέσματος 2 μονάδες. Σύνολο 4 μονάδες.

3Α) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Στον ιοντικό δεσμό έχουμε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ενώ τέτοιες αλληλεπιδράσεις δεν έχουμε στον ομοιοπολικό δεσμό.

0,5 μονάδες για σωστή απάντηση + 3,5 μονάδες για αιτιολόγηση.

Σύνολο 4 μονάδες οι 2 bonus.

4Α) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν και οι ομοιοπολικοί δεσμοί και οι ιοντικοί δεσμοί.

0,5 μονάδες για σωστή απάντηση + 3,5 μονάδες για αιτιολόγηση.

Σύνολο 4 μονάδες οι 2 bonus.

5Α) Δίνονται τα στοιχεία: άζωτο ${}^7\text{N}$ και υδρογόνο ${}^1\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο άζωτο και το υδρογόνο και β) γιατί

δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης αμμωνία NH_3 σε συνήθεις θερμοκρασίες.

(α) Είδος δεσμού ανάμεσα σε άζωτο και υδρογόνο: 3,5 μονάδες. (β) έννοια κρυστάλλου: 3,5 μονάδες. Σύνολο 7 μονάδες, οι 3 bonus.

6A) Επτά ερωτήματα του τύπου σωστό/ λάθος.

1 μονάδα για κάθε σωστή απάντηση. Σύνολο $1 \times 7 = 7$ μονάδες, οι 3 bonus.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Β

1B) Να χαρακτηρίσετε τις επόμενες προτάσεις ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ):

α) Το φθόριο (${}^9\text{F}$), μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικούς και ιοντικούς δεσμούς.

β) Το ${}^9\text{F}$ προσλαμβάνει ηλεκτρόνια ευκολότερα από το ${}^{17}\text{Cl}$.

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε όλες τις περιπτώσεις.

(α) 2 μονάδες (0,3 για σωστή απάντηση + 1,7 για δικαιολόγηση).

(β) 2 μονάδες (0,3 για σωστή απάντηση + 1,7 για δικαιολόγηση).

Σύνολο 4 μονάδες.

2B) ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗ ΥΠΟΨΗ

3B) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Η ηλεκτραρνητικότητα παίζει ρόλο και στο σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού και στο σχηματισμό του ιοντικού δεσμού.

0,5 μονάδες για σωστή απάντηση + 3,5 μονάδες για αιτιολόγηση.

Σύνολο 4 μονάδες, οι 2 bonus.

4B) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν μόνο οι ομοιοπολικοί δεσμοί και όχι και οι ιοντικοί δεσμοί.

0,5 μονάδες για σωστή απάντηση + 3,5 μονάδες για αιτιολόγηση.

Σύνολο 4 μονάδες, οι 2 bonus.

5B) Δίνονται τα στοιχεία: θείο ${}^{16}\text{S}$ και υδρογόνο ${}^1\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο θείο και το υδρογόνο και β) γιατί

δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης υδρόθειο H_2S σε συνήθειες θερμοκρασίες.

(α) Είδος δεσμού ανάμεσα σε θείο και υδρογόνο: 3,5 μονάδες. (β) έννοια κρυστάλλου: 3,5 μονάδες. Σύνολο 7 μονάδες, οι 3 bonus.

6B) Επτά ερωτήματα του τύπου σωστό/ λάθος.

1 μονάδα για κάθε σωστή απάντηση. Σύνολο $1 \times 7 = 7$ μονάδες, οι 3 bonus.

Λόγω μη λήψης υπόψη/βαθμολόγησης της ερώτησης 2, του Ερωτηματολογίου B, (βαθμός 4 μονάδες), για να εξαχθεί ο ανηγμένος στο 30 (μέγιστη βαθμολογία στο τεστ) συνολικός βαθμός στο Μέρος B του τεστ, ο συνολικός βαθμός με βάση τις 5 από τις 6 ερωτήσεις πολλαπλασιάστηκε επί τον συντελεστή 30/26.

3.8. Η συνέντευξη

Μετά την διόρθωση των γραπτών τεστ, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας με τις καλύτερες επιδόσεις κλήθηκαν σε μια προφορική συνέντευξη, όπου ο διδάσκων κατέγραψε τις απαντήσεις τους. Οι μαθητές ερωτήθηκαν σχετικά με τα έγχρωμα σχήματα/εικόνες που τους δόθηκαν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του χημικού δεσμού. Ο διδάσκων κατέγραψε τις απαντήσεις των μαθητών, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

3.9. Θέματα ηθικής δεοντολογίας

Το τεστ ήταν υποχρεωτικό για όλους τους μαθητές των τμημάτων της Α' Λυκείου που ήταν παρόντες την ημέρα της διεξαγωγής του. Οι μαθητές μετά την διόρθωση των γραπτών τους έλαβαν και την κατάλληλη ανατροφοδότηση, κατά την οποία συζητήθηκαν οι σωστές απαντήσεις, τα λάθη των μαθητών και απορίες που αυτοί είχαν. Τα θέματα του τεστ ήταν διαφορετικά από τις ερωτήσεις/ασκήσεις τόσο του σχολικού βιβλίου, όσο και αυτών που περιλαμβάνονταν στο διδακτικό υλικό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι οδηγίες που δίνει το Υπουργείο Παιδείας δεν καθορίζουν μια συγκεκριμένη δομή για τα τεστ, κάτι το οποίο έδωσε ελευθερία στο σχεδιασμό των

ερωτήσεων. Επίσης οι μαθητές ενημερώθηκαν πριν από τη διεξαγωγή του τεστ ότι αυτό δεν θα είχε κάποια αρνητική επίπτωση στο βαθμό του τετραμήνου, στην περίπτωση που δεν επιτύγχαναν κάποιο καλό βαθμό. Οι μαθητές ήταν υποχρεωμένοι να σημειώσουν το όνομά τους πάνω στο τεστ, έτσι ώστε να ενθαρρυνθεί η ουσιαστική συμμετοχή, αλλά ούτε τα ονόματά τους ούτε οι επιδόσεις τους θα αποκαλύπτονταν σε τρίτους.

3.10. Το δείγμα των μαθητών

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το σχολικό έτος 2014–2015 από τον Ευάγγελο Πύργα σε γενικό λύκειο δημοσίου σχολείου, μικρής επαρχιακής πόλης. Στην έρευνα συμμετείχαν οι μαθητές τεσσάρων τμημάτων της Α΄ Λυκείου (ηλικίες 15 – 16 ετών). Το δείγμα αποτελούνταν από συνολικά 78 μαθητές που φοιτούσαν στα τέσσερα τμήματα της Α΄ Λυκείου. Τα τμήματα χωρίστηκαν σε τμήματα «μεθοδολογίας» και «ελέγχου». Πιο συγκεκριμένα τα τμήματα Α₁ και Α₃ αποτελούσαν τα τμήματα «ελέγχου», ενώ τα τμήματα Α₂ και Α₄ αποτελούσαν τα τμήματα «μεθοδολογίας».

Κριτήριο για τον παραπάνω διαχωρισμό αποτέλεσε η επίδοση των μαθητών στην γραπτή αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου τετραμήνου. Η εξέταση αυτή είχε διάρκεια μιας διδακτικής ώρας (45 λεπτά). Δόθηκαν δύο σειρές θεμάτων στους μαθητές, έτσι ώστε να αποφευχθεί οι αντιγραφή μεταξύ των μαθητών του ίδιου θρανίου. Επίσης, επειδή βάσει του εβδομαδιαίου προγράμματος ήταν αδύνατο να γίνει η γραπτή αξιολόγηση για όλα τα τμήματα την ίδια ημέρα, έγιναν και κάποιες τροποποιήσεις των θεμάτων για τα τμήματα που εξετάζονταν σε διαφορετικές ημέρες. Οι μαθητές εξετάστηκαν σε τμήμα της ύλης του πρώτου κεφαλαίου, το οποίο είχε διδαχθεί από τον Ευάγγελο Πύργα. Όσον αφορά την ύλη, αυτή περιλάμβανε τις εξής ενότητες του σχολικού βιβλίου: «1.3. Δομικά σωματίδια της ύλης – Δομή ατόμου – Ατομικός αριθμός – Μαζικός αριθμός – Ισότοπα» & «1.5. Ταξινόμηση της ύλης – Διαλύματα – Περιεκτικότητες διαλυμάτων – Διαλυτότητα». Όλοι οι μαθητές έλαβαν μέρος στην γραπτή αξιολόγηση. Οι μέσοι όροι των επιδόσεων των μαθητών ήταν οι εξής: για τα τμήματα ελέγχου Α₁ & Α₃, 14,1 & 13,3 αντίστοιχα, ενώ για τα τμήματα μεθοδολογίας Α₂ & Α₄, 11,5 & 13,7. Όπως προκύπτει από τις επιδόσεις αυτές, υπάρχει μια σχετική ισοδυναμία μεταξύ των τμημάτων Α₁, Α₃ & Α₄, αντίθετα το τμήμα Α₂ φαίνεται βαθμολογικά να υστερεί έναντι όλων των άλλων.

Το τμήμα A₁ αποτελούνταν από 19 μαθητές και στο γραπτό τεστ έλαβαν μέρος και οι 19 μαθητές. Το τμήμα A₂ αποτελούνταν από 21 μαθητές και στο γραπτό τεστ έλαβαν μέρος οι 18 γιατί οι υπόλοιποι απουσίαζαν την ημέρα διεξαγωγής του τεστ. Το τμήμα A₃ αποτελούνταν από 20 μαθητές και στο γραπτό τεστ έλαβαν μέρος οι 14 γιατί οι υπόλοιποι απουσίαζαν την ημέρα διεξαγωγής του τεστ. Τέλος το τμήμα A₄ αποτελούνταν από 18 μαθητές και στο γραπτό τεστ έλαβαν μέρος και οι 18 μαθητές. Επομένως, από το σύνολο των 78 μαθητών, οι 69 έλαβαν μέρος στο τεστ.

3.11. Αποτελέσματα και συζήτηση

Η βαθμολόγηση των γραπτών τεστ πραγματοποιήθηκε από το διδάσκοντα και χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα του 20. Δεδομένου ότι κάποια θέματα (βλ. Παράρτημα 3.2 στο τέλος του κεφαλαίου) έδιναν και επιπλέον μονάδες bonus, επειδή απαιτούσαν όχι απλώς γνώση αλλά και κρίση, αν ένας μαθητής απαντούσε πλήρως όλα τα θέματα θα μπορούσε να λάβει ως άριστα το βαθμό 30. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο τεστ συμμετείχαν και οι λεγόμενοι «αδιάφοροι» μαθητές, οι οποίοι είχαν αρκετά χαμηλές επιδόσεις. Για το λόγο αυτό, εστίασαμε στους μαθητές με συνολική βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 10 στο συνολικό τεστ, και κατόπιν σε αυτούς που είχαν συνολική βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 7. Οι πρώτοι (βαθμολογία ≥ 10) ήταν 24, δηλαδή το $24/69 = 34,8\%$ του συνόλου των μαθητών του τεστ, ενώ οι δεύτεροι πρώτοι (βαθμολογία ≥ 7) ήταν 35, δηλαδή το $35/69 = 50,7\%$ του συνόλου των μαθητών του τεστ. Προσπαθήσαμε έτσι να αποφύγουμε αποτελέσματα που θα οδηγούσαν την έρευνά μας σε αβέβαια συμπεράσματα.

Να ληφθεί υπόψη ότι στο τέλος, εξετάζουμε και μια επιπλέον παράμετρο, τις επιδόσεις των μαθητών στις τελικές προαγωγικές εξετάσεις Μαΐου–Ιουνίου στο μάθημα της χημείας.

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΘΜΟ
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ Ή ΙΣΟ ΤΟΥ 10

Πίνακας 3.1: Οι επιδόσεις των μαθητών στο συνολικό τεστ που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 4)	A ₄ (n= 8)	A ₁ (n= 4)	A ₃ (n= 8)
1	11,7	25,4	12,6	21,3
2	11,3	20,2	12,5	20,2
3	11,2	16,8	12	17,7
4	10,2	15,4	9,9	15,5
5		15,4		13,5
6		13,6		11,8
7		12,7		11,1
8		10,4		11
M.O.	11,10	16,24	11,75	15,26
Τυπικές Αποκλίσεις	0,64	4,70	1,26	4,10
	A ₂ + A ₄ (n= 12)		A ₁ + A ₃ (n= 12)	
M.O.	14,53		14,09	
Τυπικές Αποκλίσεις	4,54		3,75	

Στον Πίνακα 3.1 καταγράφονται οι επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων που σημείωσαν συνολική βαθμολογία από 10 και πάνω (συμπεριλάβαμε και έναν μαθητή του τμήματος A₁ με βαθμολογία 9,9). Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι οι επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα χαρακτηρίζονται από ετερογένεια. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο, δεδομένου ότι ανά τμήμα εμφανίζονται διακυμάνσεις όσον αφορά τις βαθμολογικές επιδόσεις των μαθητών.

Ο μεγαλύτερος βαθμολογικός μέσος όρος εμφανίζεται στο τμήμα A₄ (τμήμα μεθοδολογίας) που είναι 16,24. Το τμήμα A₃ (τμήμα ελέγχου) εμφανίζει μέσο όρο 15,26. Τα παραπάνω τμήματα εμφανίζουν σχεδόν παντού τις καλύτερες επιδόσεις. Τα τμήματα A₁ (τμήμα ελέγχου) και A₂ (τμήμα μεθοδολογίας) εμφανίζουν το μικρότερο μέσο όρο βαθμολογίας 11,75 και 11,10 αντίστοιχα. Το A₂ μάλιστα εμφανίζει το μικρότερο βαθμολογικό μέσο όρο από όλα τα τμήματα.

Αξιοσημείωτο είναι όμως ότι το τμήμα A₂ (ΜΕΘΟΔ.) και το A₁ (ΕΛΕΓΧΟΥ) (που είναι ισάριθμα με $n = 4$) έχουν παρόμοιες επιδόσεις (Μ.Ο. 11,10 έναντι 11,75). Αντίστοιχα, το τμήμα A₄ (ΜΕΘΟΔ.) και το A₃ (ΕΛΕΓΧΟΥ) (που επίσης είναι ισάριθμα με $n = 8$) έχουν επίσης παρόμοιες επιδόσεις (Μ.Ο. 16,24 έναντι 15,26). Περαιτέρω, αν αθροίσουμε τα A₂+A₄ ($n = 12$) αφενός και αφετέρου τα A₁+A₃ ($n = 12$), οι επιδόσεις δεν φαίνεται να διαφέρουν 14,53 έναντι 14,09.

Αυτό μπορεί να δειχθεί και με στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney, το οποίο είναι το κατάλληλο απαραμετρικό τεστ για ανεξάρτητα μικρά δείγματα (και τα οποία δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή). (Το αντίστοιχο παραμετρικό κριτήριο είναι το t-test για ανεξάρτητα δείγματα.):

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 70,5. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 37. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι 0,05774. Η τιμή του p είναι 0,95216. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΘΜΟ
ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ Ή ΙΣΟ ΤΟΥ 7

Πίνακας 3.2: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό (στο συνολικό τεστ)
μεγαλύτερο ή ίσο του 7

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 7)	A ₄ (n= 13)	A ₁ (n= 5)	A ₃ (n= 10)
1	11,7	25,4	12,6	21,3
2	11,3	20,2	12,5	20,2
3	11,2	16,8	12	17,7
4	10,2	15,4	9,9	15,5
5	8,4	15,4	7,5	13,5
6	7,3	13,6		11,8
7	7,3	12,7		11,1
8		10,4		11
9		9,5		8
10		8,5		7,7
11		7,8		
12		7		
13		7		
Μ.Ο.	9,63	13,05	10,90	13,78
Τυπικές Αποκλίσεις	1,93	5,56	2,19	4,78
	A ₂ + A ₄ (n= 20)		A ₁ + A ₃ (n= 15)	
Μ.Ο.	11,86		12,82	
Τυπικές Αποκλίσεις	4,84		4,24	

Στον Πίνακα 3.2 καταγράφονται οι επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων που σημείωσαν συνολική βαθμολογία από 7 και πάνω. Και σε αυτή την περίπτωση (όπως και στον Πίνακα 3.1), οι επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα χαρακτηρίζονται από ετερογένεια, μικρότερη όμως σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Όπως είπαμε και προηγουμένως αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο δεδομένου ότι ανά τμήμα εμφανίζονται διακυμάνσεις όσον αφορά τις βαθμολογικές επιδόσεις των μαθητών.

Ο μεγαλύτερος βαθμολογικός μέσος όρος (13,78) εμφανίζεται αυτή τη φορά στο τμήμα A₃ (τμήμα ελέγχου) έναντι βαθμολογικού μέσου όρου 13,05 του τμήματος A₄ (τμήμα μεθοδολογίας). Θα πρέπει όμως να επισημάνουμε ότι το τμήμα A₄ είναι αυτό που συνολικά εμφανίζει την καλύτερη «εικόνα». Όσον αφορά τα τμήματα A₁ (τμήμα ελέγχου) και A₂ (τμήμα μεθοδολογίας) εμφανίζουν το μικρότερο μέσο όρο βαθμολογίας. Για το A₁ οι αντίστοιχες τιμές είναι: 10,90 (T.A. 2,19) ενώ για το A₂ είναι: 9,63 (T.A. 1,93). Τέλος αν υπολογίσουμε τους μέσους όρους συνολικά και στα τμήματα μεθοδολογίας (A₂ + A₄, n = 20) και ελέγχου (A₁ + A₃, n = 15), θα δούμε ότι συνολικά τα τμήματα μεθοδολογίας εμφανίζουν μια λίγο χειρότερη «εικόνα», 11,86 (T.A. 4,84) έναντι 12,82 (T.A. 4,24).

Όπως έγινε με τον Πίνακα 3.1, έτσι και για τον Πίνακα 3.2, θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 120,5. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 90. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι -0,96667. Η τιμή του p είναι 0,33204. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου. Παρόλο ότι τα τμήματα ελέγχου έχουν υψηλότερη επίδοση κατά 0,96/30, η διαφορά είναι μικρή και όχι στατιστικά σημαντική. Για να ήταν η διαφορά αυτή στατιστικώς σημαντική θα έπρεπε το συνολικό δείγμα (άθροισμα των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας και ελέγχου) να ήταν 745 αντί για 35.

Στη συνέχεια θα γίνει μια ταξινόμηση των μαθητών με βάση τη συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ. Η ταξινόμηση αυτή θα γίνει κατά φθίνουσα σειρά για τους μαθητές που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7. Αυτή θα γίνει

για τους 20 μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας και ξεχωριστά για τους 15 μαθητές των τμημάτων ελέγχου. Η ταξινόμηση αυτή κρίνεται απαραίτητη έτσι ώστε να μπορούμε, όπως θα δούμε και παρακάτω, να εντοπίζουμε σε ποιο μαθητή αντιστοιχούν συγκεκριμένες απαντήσεις που δόθηκαν σε κάποιες ερωτήσεις. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ταξινόμηση αυτή.

Πίνακας 3.3: Ταξινόμηση μαθητών (φθίνουσα) με βάση τη συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ (μαθητές που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7)

Συνολικός βαθμός τεστ	Τμήματα μεθοδολογίας $A_2 + A_4$ (n= 20)	Συνολικός βαθμός τεστ	Τμήματα ελέγχου $A_1 + A_3$ (n= 15)
25,4	MM1 Μαθητής Μεθοδολογίας 1	21,3	ME1 Μαθητής Ελέγχου 1
20,2	MM2	20,2	ME2
16,8	MM3	17,7	ME3
15,4	MM4α	15,5	ME4
15,4	MM4β	13,5	ME5
13,6	MM6	12,6	ME6
12,7	MM7	12,5	ME7
11,7	MM8	12	ME8
11,3	MM9	11,8	ME9
11,2	MM10	11,1	ME10
10,4	MM11	11	ME11
10,2	MM12	9,9	ME12
9,5	MM13	8	ME13
8,5	MM14	7,7	ME14
8,4	MM15	7,5	ME15
7,8	MM16		
7,3	MM17α		
7,3	MM17β		
7	MM19α		
7	MM19β		

ΜΕΡΟΣ Γ: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, για να αποφύγουμε αντιγραφή θεμάτων μεταξύ μαθητών του ίδιου θρανίου, τα θέματα χωρίστηκαν σε δύο σειρές, Α και Β. Αποτέλεσμα ήταν οι αριθμοί των απαντήσεων να είναι μικροί, γι' αυτό δεν θα προχωρήσουμε σε παράθεση αποτελεσμάτων για τις επιμέρους ερωτήσεις, αλλά όπου κρίνουμε εφικτό, θα προσπαθήσουμε να ομαδοποιήσουμε ερωτήσεις από τα μέρη Α και Β.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1Α. Η ερώτηση 1Α (η οποία είναι παρόμοια με ερωτήσεις που προέρχονταν από την Τράπεζα θεμάτων του Υπουργείου Παιδείας) δεν μπορεί να συνδυαστεί με κάποια ερώτηση Β. Γι' αυτό θα εξεταστεί μόνη της.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1Α. Τι είδους δεσμός αναπτύσσεται μεταξύ ${}^3\text{Li}$ και του χλωρίου ${}^{17}\text{Cl}$, ιοντικός ή ομοιοπολικός; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας περιγράφοντας τον τρόπο σχηματισμού του δεσμού.

Πίνακας 3.4: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων Α, 1^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 3)	A ₄ (n= 4)	A ₁ (n= 3)	A ₃ (n= 6)
Μ.Ο.	2,60	2,95	2,97	3,33
Τυπικές Αποκλίσεις	1,15	0,17	0,81	0,12
	A ₂ + A ₄ (n= 7)		A ₁ + A ₃ (n= 9)	
Μ.Ο.	2,80		3,21	
Τυπικές Αποκλίσεις	0,70		0,45	

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 1^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες. Αν τώρα υπολογίσουμε μαζί τους μέσους όρους για τα τμήματα μεθοδολογίας [$A_2 + A_4$ ($n=7$), $MO = 2,80$, $TA = 0,70$] έναντι των τμημάτων ελέγχου [$A_1 + A_3$ ($n=9$), $MO = 3.21$, $TA = 0,45$], παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων ελέγχου (συνολικά) απαντούν καλύτερα.

Πίνακας 3.5: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων Α, 1^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A_2 ($n=4$)	A_4 ($n=8$)	A_1 ($n=4$)	A_3 ($n=6$)
Μ.Ο.	2,08	2,10	2,68	3,33
Τυπικές Αποκλίσεις	1,41	0,94	0,88	0,12
	$A_2 + A_4$ ($n=12$)		$A_1 + A_3$ ($n=10$)	
Μ.Ο.	2,09		3,07	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,05		0,62	

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 1^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Αν τώρα υπολογίσουμε μαζί τους μέσους όρους για τα τμήματα μεθοδολογίας [$A_2 + A_4$ ($n=12$), $MO = 2,09$, $TA = 1,05$] έναντι των τμημάτων ελέγχου [$A_1 + A_3$ ($n=10$), $MO = 3.07$, $TA = 0,62$], παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων ελέγχου απαντούν πολύ καλύτερα, 3,07 έναντι 2,09.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 5Α και 5Β. Οι ερωτήσεις 5Α και 5Β είναι παρόμοιες, γι' αυτό θα τις εξετάσουμε μαζί. Να σημειωθεί ότι το πρώτο μέρος τους μοιάζει με την ερώτηση 1Α, γι' αυτό τις εξετάζουμε αμέσως μετά την 1Α. Επίσης το πρώτο μέρος τους, όπως και στην περίπτωση της 1Α, είναι παρόμοιο με ερωτήσεις που προέρχονται από την τράπεζα θεμάτων.

ΕΡΩΤΗΣΗ 5Α. Δίνονται τα στοιχεία: άζωτο ${}^7\text{N}$ και υδρογόνο ${}^1\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο άζωτο και το υδρογόνο και (β) γιατί δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης αμμωνία NH_3 σε συνήθεις θερμοκρασίες.

ΕΡΩΤΗΣΗ 5Β. Δίνονται τα στοιχεία: θείο ${}_{16}\text{S}$ και υδρογόνο ${}^1\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο θείο και το υδρογόνο και (β) γιατί δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης υδρόθειο H_2S σε συνήθεις θερμοκρασίες.

Πίνακας 3.6: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων A+B, 5^η Ερώτηση, Άριστα = 7 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 4)	A₄ (n= 8)	A₁ (n= 4)	A₃ (n= 8)
M.O.	2,78	3,89	3,95	4,38
Τυπικές Αποκλίσεις	1,75	1,90	2,02	1,48
	A₂ + A₄ (n= 12)		A₁ + A₃ (n= 12)	
M.O.	3,52		4,23	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,86		1,60	

Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 5^η ερώτηση της Α και Β σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 7 μονάδες (οι 3 μονάδες ήταν bonus λόγω του δεύτερου σκέλους των ερωτήσεων). Παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 12)**] εμφανίζουν χειρότερο μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 12)**], 3,52 (Τ.Α. 1,86) έναντι 4,23 (Τ.Α. 1,60).

Πίνακας 3.7: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων A+B, 5^η Ερώτηση, Άριστα = 7 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 7)	A ₄ (n= 13)	A ₁ (n= 5)	A ₃ (n= 10)
M.O.	2,17	3,08	3,16	3,67
Τυπικές Αποκλίσεις	1,71	1,95	2,48	1,99
	A ₂ + A ₄ (n= 20)		A ₁ + A ₃ (n= 15)	
M.O.	2,76		3,50	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,88		2,09	

Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 5^η ερώτηση της Α και Β σειράς θεμάτων. Παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [A₂ + A₄ (n= 20)] εμφανίζουν χειρότερο μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου [A₁ + A₃ (n= 15)] 2,76 (Τ.Α. 1,88) έναντι 3,50 (Τ.Α. 2,09).

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 115. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 90. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι -1,15. Η τιμή του p είναι 0,25014. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

Παρατηρούμε ότι οι επιδόσεις στις ερωτήσεις 5A & 5B (που αναφερόταν στους ομοιοπολικούς δεσμούς στην NH₃ και στο H₂S αντιστοίχως) ήταν υψηλότερες από την παρόμοια ερώτηση 1A (που αναφερόταν στον σχηματισμό ιοντικού δεσμού στο NaCl). Αυτό οφείλεται στο ότι οι ερωτήσεις 5A & 5B είχαν ως άριστα το βαθμό 7 ενώ η

ερώτηση 1Α το 4. Αν γίνει αναγωγή των ερωτήσεων 5Α & 5Β με άριστα το 4 αντί για 7 τότε οι μέσοι όροι (για τον Πίνακα 3.7) γίνονται: $2,76 * 4/7 = 1,58$, για τα τμήματα μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 20)**] και $3,50 * 4/7 = 2,00$, για τα τμήματα ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 15)**]. Αν η ίδια αναγωγή γίνει και για τον μέσο όρο των τμημάτων ελέγχου και μεθοδολογίας του Πίνακα 3.6 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τελικά οι επιδόσεις στις ερωτήσεις 5Α & 5Β ήταν **χαμηλότερες** από την παρόμοια ερώτηση 1Α. Αυτό οφείλεται στην πρόσθετη ερώτηση «γιατί δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην NH₃ και στο H₂S (υποερώτημα «β»)) στις ερωτήσεις 5Α και 5Β αντιστοίχως. Σχεδόν το σύνολο των μαθητών, εκτός από κάποιες εξαιρέσεις, έλαβαν χαμηλότερη βαθμολογία στο υποερώτημα «β» σε σχέση με το υποερώτημα «α» των συγκεκριμένων ερωτήσεων. Τα δύο αυτά υποερωτήματα ήταν βαθμολογικά ισοδύναμα με 3,5 μονάδες το καθένα (βλ. βαθμολογικό σχήμα).

ΕΡΩΤΗΣΗ 2Α. Η ερώτηση 2Α (η οποία έχει έντονα χαρακτηριστικά ερωτήσεως κρίσεως) δεν μπορεί να συνδυαστεί με κάποια ερώτηση Β. Γι' αυτό θα εξεταστεί μόνη της.

ΕΡΩΤΗΣΗ 2Α. Δίνονται τα στοιχεία: αργίλιο ¹³Al και χλώριο ¹⁷Cl. Για το καθένα από τα δύο αυτά στοιχεία να γράψετε την κατανομή των ηλεκτρονίων του ατόμου του σε στιβάδες και στη συνέχεια, **υποθέτοντας ότι η χημική ένωση αργιλίου και χλωρίου είναι ομοιοπολική**, να αναφέρετε πόσοι ομοιοπολικοί δεσμοί αναμένετε να σχηματιστούν ανάμεσα στο άτομο του αργιλίου και στο άτομο του χλωρίου. Τέλος, να σχολιάσετε το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας στον σχολιασμό σας τον κανόνα του οκτώ.

Πίνακας 3.8: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων Α, 2^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 3)	A₄ (n= 4)	A₁ (n= 3)	A₃ (n= 6)
Μ.Ο.	1,27	1,55	3,03	2,70
Τυπικές Αποκλίσεις	0,681	1,1267	0,252	1,094

	A₂ + A₄ (n= 7)	A₁ + A₃ (n= 9)
M.O.	1,43	2,81
Τυπικές Αποκλίσεις	0,90	0,89

Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 2^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες. Αν τα δούμε συνολικά τα τμήματα ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 9)**] εμφανίζουν σχεδόν τον διπλάσιο μέσο όρο, 2,81 (Τ.Α. 0,89) από τα τμήματα μεθοδολογίας (Μ.Ο. 1,43, Τ.Α. 0,90). Να σημειωθεί ότι οι επιδόσεις των A₂ (Μ.Ο. 1,27) και A₄ (Μ.Ο. 1,55) είναι παρόμοιες, και όμοια των A₁ (Μ.Ο. 3,03) και A₃ (Μ.Ο. 2,70).

Οι υψηλές επιδόσεις των τμημάτων ελέγχου, δείχνει ότι σε αυτά υπήρχαν μαθητές με υψηλή κριτική ικανότητα.

Πίνακας 3.9: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων Α, 2^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 4)	A₄ (n= 8)	A₁ (n= 4)	A₃ (n= 6)
M.O.	1,15	1,31	2,45	2,70
Τυπικές Αποκλίσεις	0,60	1,12	1,18	1,09
	A₂ + A₄ (n= 12)		A₁ + A₃ (n= 10)	
M.O.	1,26		2,60	
Τυπικές Αποκλίσεις	0,95		1,07	

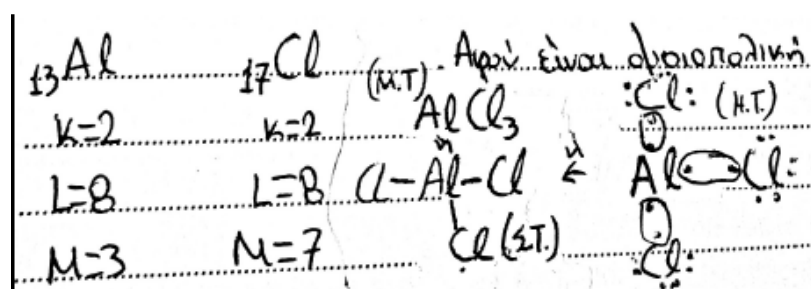
Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 2^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες. Αν τα δούμε συνολικά, όπως και στην περίπτωση των μαθητών με επίδοση ≥ 10 , τα τμήματα ελέγχου [**A₁ +**

A₃ (n= 10)] εμφανίζουν σχεδόν τον διπλάσιο μέσο όρο, 2,60 (Τ.Α. 1,07) από τα τμήματα μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 12)**]: (Μ.Ο. 1,26, Τ.Α. 0,95).

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως η πλήρης απάντηση στην ερώτηση 2Α αντιστοιχούσε σε 4 μονάδες. Θα δούμε στη συνέχεια παραδείγματα απαντήσεων μαθητών που στη συγκεκριμένη ερώτηση είχαν υψηλή βαθμολογία (από 3 έως και 4 μονάδες). Με βάση τον Πίνακα 3.3 θα γίνει μια ταυτοποίηση των μαθητών αυτών (σε σχέση με το συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ). Επίσης θα δούμε σε ποια σημεία υστέρησαν οι μαθητές που δεν έλαβαν τη μέγιστη βαθμολογία. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι και οι πέντε μαθητές που έλαβαν υψηλή βαθμολογία ανήκαν σε τμήματα ελέγχου (οι δύο στο Α₁ και οι άλλοι τρεις στο Α₃). Η βαθμολόγηση των ερωτήσεων στηρίχθηκε στο βαθμολογικό σχήμα που παρουσιάζεται στην αρχή του κεφαλαίου.

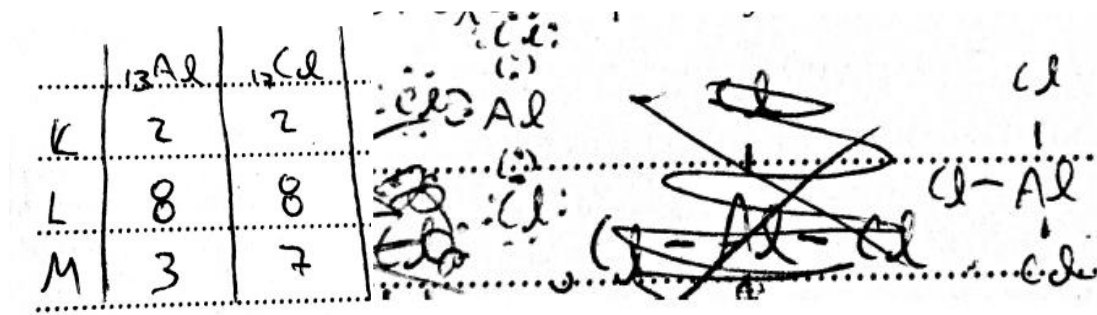
3.12. Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών που έλαβαν υψηλή βαθμολογία στην ερώτηση 2Α

1) Βαθμός 4, Μαθητής Ελέγχου 3 (ME3)



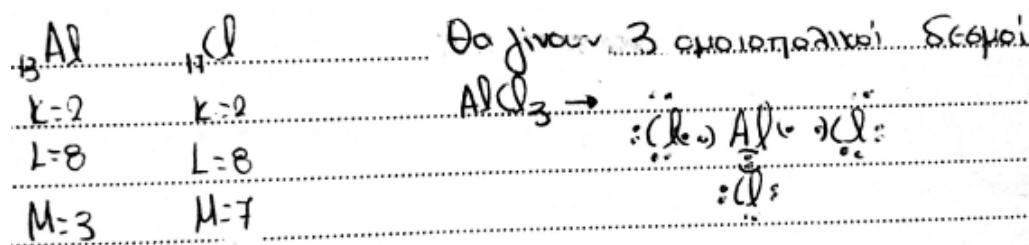
Ανάμεσα στο άτομο του αργιλίου και στο άτομο του χλωρίου σχηματίζονται 3 ομοιοπολικοί δεσμοί.

Σύμφωνα με τον κανόνα των 8 τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώνουν την εξωτερική τους στοιβάδα με 8 ηλεκτρόνια εκτός αν είναι η Κ που συμπληρώνεται με 2, ώστε να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το Al συμπληρώνεται με 6e, άρα αποτελεί εξαίρεση, ενώ κάθε Cl με 8e.

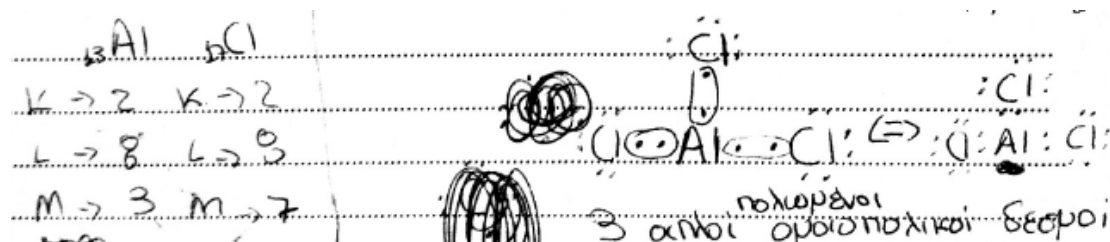
2) **Βαθμός 3,7**, Μαθητής Ελέγχου 9 (ME9)

Σχηματίζονται 3 απλοί ομοιοπολικοί δεσμοί.

Σύμφωνα με τον κανόνα του οκτώ κάθε άτομο «θέλει» να αποκτήσει δομή ευγενούς αερίου, δηλαδή 8e στην εξωτερική στιβάδα επομένως πραγματοποιείται αμοιβαία συνεισφορά ανάμεσα στα 3 άτομα Cl και στο άτομο του Al. Κάθε Cl αποκτά 8e στην εξωτερική στιβάδα, ενώ το Al 6. Εάν η ένωση γίνονταν με ιοντικό δεσμό θα αποκτούσαν τα 3 άτομα Cl και το άτομο Al 8e στην εξωτερική στιβάδα.

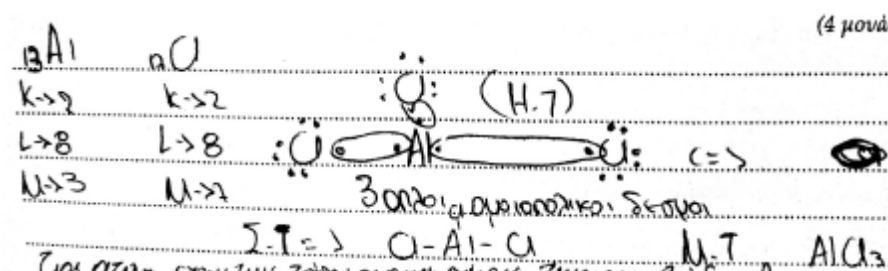
3) **Βαθμός 3,3**, Μαθητής Ελέγχου 1 (ME1)

Αυτό συμβαίνει, διότι σύμφωνα με τον κανόνα των οκτώ τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώνουν την εξωτερική τους στιβάδα με 8 ηλεκτρόνια (εκτός από την K που συμπληρώνεται με 2), ώστε να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου. Έτσι κι εδώ τόσο το Al, όσο και το Cl θέλουν να αποκτήσουν 8e στην εξωτερική στιβάδα.

4) **Βαθμός 3,3**, Μαθητής Ελέγχου 6 (ME6)

Τα άτομα του Cl θα σχηματίσουν την εξωτερική τους στιβάδα με 8e, αφού όπως λέει ο κανόνας των 8, κάθε άτομο έχει την τάση να συμπληρώνει την εξωτερική του στιβάδα με 8e εκτός της K που έχει την τάση με 2.

5) Βαθμός 3,0, Μαθητής Ελέγχου 8 (ME8)



Τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώνουν την στοιβάδα σθένους με 8 ηλεκτρόνια ώστε να έχει μορφή ευγενούς αερίου.

3.12.1 Συζήτηση των απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 2Α

Παρατηρώντας τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 2Α, μπορούμε να πούμε ότι όλοι έγραψαν σωστά την κατανομή ηλεκτρονίων σε στοιβάδες, όπως επίσης ανέφεραν και σωστά τον αριθμό των ομοιοπολικών δεσμών. Από τις απαντήσεις αυτές έλαβαν συνολικά 2 μονάδες. Οι υπόλοιπες 2 μονάδες αφορούσε την αιτιολόγηση με βάση τον κανόνα του οκτώ. Η αιτιολόγηση του ME 3 κρίθηκε πλήρης. Στην αιτιολόγηση του ME9 δεν αναφέρεται ότι τα 6 ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας του Al αποτελούν εξαίρεση στον κανόνα του οκτώ. Οι ME1 & ME6 αναφέρονται στα οκτώ ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας του Cl χωρίς να γίνεται καμία αναφορά στα έξι ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας του Al (παρόλο που αυτό φαίνεται στον ηλεκτρονιακό τύπο). Τέλος ο ME8 δεν αναφέρεται περιγραφικά καθόλου στα άτομα Cl & Al.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1Β. Η ερώτηση 1Β (η οποία επίσης έχει χαρακτηριστικά ερωτήσεως κρίσεως) δεν μπορεί να συνδυαστεί με κάποια ερώτηση Α. Γι' αυτό θα εξεταστεί μόνη της. Να σημειωθεί ότι η ερώτηση αυτή είναι παρόμοια με ερώτηση της τράπεζας θεμάτων του Υπουργείου Παιδείας. Επίσης το υποερώτημα «β» του θέματος αυτού είναι παρόμοιο και με ερώτηση του σχολικού εγχειριδίου.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1B. Να χαρακτηρίσετε τις επόμενες προτάσεις ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ):

α) Το φθόριο (${}^9\text{F}$), μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικούς και ιοντικούς δεσμούς.

β) Το ${}^9\text{F}$ προσλαμβάνει ηλεκτρόνια ευκολότερα από το ${}^{17}\text{Cl}$.

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε όλες τις περιπτώσεις.

Πίνακας 3.10: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων B, 1^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 1)	A₄ (n= 4)	A₁ (n= 1)	A₃ (n= 2)
M.O.	1,00	2,18	0,40	1,55
Τυπικές Αποκλίσεις	-	1,729	-	0,071
	A₂ + A₄ (n= 5)		A₁ + A₃ (n= 3)	
M.O.	1,94		1,17	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,56		0,67	

Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 1^η ερώτηση της B σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες. Αν υπολογίσουμε μαζί τους μέσους όρους για τα τμήματα μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 5)**] έναντι των τμημάτων ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 3)**], παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων ελέγχου (συνολικά) απαντούν χειρότερα, (M.O. 1,17, T.A. 0,67] έναντι των τμημάτων μεθοδολογίας (M.O. 1,94, T.A. 1,56). Να ληφθούν υπόψη τα πολύ μικρά μεγέθη δείγματος.

Πίνακας 3.11: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων Β, 1^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 3)	A₄ (n= 5)	A₁ (n= 1)	A₃ (n= 4)
M.O.	0,53	1,94	0,40	1,25
Τυπικές Αποκλίσεις	0,40	1,59	-	0,40
	A₂ + A₄ (n= 8)		A₁ + A₃ (n= 5)	
M.O.	1,41		1,08	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,42		0,52	

Στον Πίνακα 3.11 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 1^η ερώτηση της Β σειράς θεμάτων. Αν υπολογίσουμε μαζί τους μέσους όρους για τα τμήματα μεθοδολογίας έναντι των τμημάτων ελέγχου, παρατηρούμε ότι οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 8)**] (συνολικά) απαντούν καλύτερα, 1,41 έναντι [**A₁ + A₃ (n= 5)**] 1,08. Τα δείγματα εξακολουθούν να είναι μικρά.

Η ερώτηση αυτή είχε πολύ χαμηλές επιδόσεις, που πρέπει να αποδοθούν στα χαρακτηριστικά ερώτησης κρίσεως.

Η πλήρης απάντηση στην ερώτηση 1B αντιστοιχούσε σε 4 μονάδες. Θα δούμε στη συνέχεια δύο παραδείγματα απαντήσεων μαθητών που στη συγκεκριμένη ερώτηση είχαν πολύ καλές επιδόσεις. Με βάση τον Πίνακα 3.3 θα γίνει μια ταυτοποίηση των μαθητών αυτών (σε σχέση με το συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ). Επίσης θα δούμε σε ποιο ή ποια σημεία υστέρησε ο ένας μαθητής που δεν έλαβε τη μέγιστη βαθμολογία. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μαθητές, των οποίων τις απαντήσεις θα αναφέρουμε παρακάτω, ανήκουν σε τμήμα μεθοδολογίας, τμήμα A₄. Η βαθμολόγηση των ερωτήσεων στηρίχθηκε στο βαθμολογικό σχήμα που παρουσιάζεται στην αρχή του κεφαλαίου.

3.13. Παραδείγματα απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1B

1) Βαθμός 4, Μαθητής Μεθοδολογίας 1 (MM1)

α) Σ.

${}^9\text{F}$: $\text{K}^2 \text{L}^7$ ηλεκτραρνητικό στοιχείο και επειδή έχει 7e στην εξωτερική στιβάδα ανήκει στην VIIA ομάδα. Είναι αμέταλλο. Μπορεί να σχηματίσει ιοντικό με ένα άτομο μετάλλου και ομοιοπολικό με ένα άλλο αμέταλλο ή με όμοιο άτομό του.

β) Σ.

${}^9\text{F}$: $\text{K}^2 \text{L}^7$

${}^9\text{Cl}$: $\text{K}^2 \text{L}^8 \text{M}^7$

Προσλαμβάνει e σημαίνει ποιο είναι πιο ηλεκτραρνητικό. Το F, Cl ανήκουν στην VIIA ομάδα του ΠΠ (7e στην εξ. στιβάδα). Το F όμως έχει λιγότερες στιβάδες από το Cl άρα μικρότερη η ατομική ακτίνα και τα e της εξωτερικής στιβάδας βρίσκονται πιο κοντά στον πυρήνα και η ελκτική δύναμη που ασκεί ο πυρήνας στα e είναι πιο ισχυρή στο F από ότι στο Cl. Το F προσλαμβάνει πιο εύκολα e από ό,τι το Cl.

2) Βαθμός 3,0, Μαθητής Μεθοδολογίας 4α (MM4α)

α) Σ. Το φθόριο μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικό δεσμό, δημιουργώντας ένα μόριο φθορίου (F_2), καθώς ο ομοιοπολικός δεσμός σχηματίζεται ανάμεσα και σε ίδια άτομα. Μπορεί επίσης να σχηματίσει ιοντικό δεσμό, καθώς έχει στην τελευταία στιβάδα 7 ηλεκτρόνια και θέλει να σχηματίσει δομή ευγενούς αερίου με 8 ηλεκτρόνια στην τελευταία στιβάδα και θα γίνει ανιόν, παίρνοντας ένα ακόμη ηλεκτρόνιο.

β) Σ. Και τα δύο στοιχεία ανήκουν στην 17^η ομάδα του Π.Π. Το Cl όμως έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από το F, άρα χάνει ευκολότερα ηλεκτρόνια. Άρα το Cl είναι ηλεκτραρνητικό άτομο και το F είναι ηλεκτροθετικό.

3.13.1. Συζήτηση των απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1B

Και οι δύο μαθητές απαντούν σωστά στο Σωστό/Λάθος. Ο μαθητής MM1 αιτιολογεί πλήρως και τα δύο ερωτήματα. Ο μαθητής MM4α δεν αναφέρει στο ερώτημα α ότι ο ομοιοπολικός δεσμός μπορεί να σχηματισθεί ανάμεσα και σε διαφορετικά άτομα, συνήθως αμέταλλα και ότι στην περίπτωση του ιοντικού δεσμού απαιτείται και η

παρουσία ενός λιγότερου ηλεκτραρνητικού ατόμου. Στο β ερώτημα δεν αναφέρει ότι το F έχει τα ηλεκτρόνιά του κατανεμημένα σε λιγότερες στοιβάδες.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 6Α και 6Β. Οι ερωτήσεις 6Α και 6Β είναι σχεδόν ταυτόσημες, γι' αυτό θα τις εξετάσουμε μαζί. Το θέμα αυτό προέρχεται από βιβλίο του Taber.

ΕΡΩΤΗΣΗ 6Α.

Παρακάτω δείχνεται μια *δισδιάστατη απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl*. Να απαντήσεις αν οι παρακάτω ερωτήσεις είναι σωστές ή λάθος, σημειώνοντας Σ ή Λ μπροστά από καθεμιά.

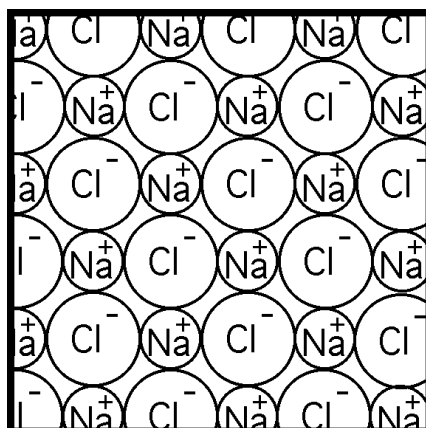
- Ένα κατιόν είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό με οποιοδήποτε γειτονικό του ανιόν.
- Στο διάγραμμα δεν δείχνονται μόρια.
- Ένα κατιόν νατρίου είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό μόνο με το ανιόν χλωρίου στο οποίο έδωσε το ηλεκτρόνιο του.
- Δεν είναι δυνατό να δείξουμε στο διάγραμμα πού είναι οι ιοντικοί δεσμοί, εκτός αν γνωρίζουμε ποιο άτομο χλωρίου δέχθηκε ηλεκτρόνιο από ποιο άτομο νατρίου.
- Ένα άτομο νατρίου μπορεί να σχηματίσει μόνο έναν ιοντικό δεσμό γιατί έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο σθένους για να δώσει.
- Ένα αρνητικό ιόν μπορεί να έλκεται μόνο από ένα θετικό ιόν.
- Στο διάγραμμα, ένα ιόν νατρίου έλκεται μόνο από ένα ιόν χλωρίου με ιοντικό δεσμό και έλκεται από τα άλλα ιόντα χλωρίου απλώς με δυνάμεις.

ΕΡΩΤΗΣΗ 6Β.

Παρακάτω δείχνεται μια *δισδιάστατη απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl*. Να απαντήσεις αν οι παρακάτω ερωτήσεις είναι σωστές ή λάθος σημειώνοντας Σ ή Λ μπροστά από καθεμιά.

- Στο διάγραμμα μπορούμε να δείξουμε πού είναι οι ιοντικοί δεσμοί, αν γνωρίζουμε ποιο άτομο νατρίου δέχθηκε ηλεκτρόνιο από ποιο άτομο χλωρίου.
- Ένα θετικό ιόν μπορεί να έλκεται μόνο από ένα αρνητικό ιόν.
- Στο διάγραμμα, ένα ιόν χλωρίου έλκεται μόνο από ένα ιόν νατρίου με ιοντικό δεσμό και έλκεται από τα άλλα ιόντα νατρίου απλώς με δυνάμεις.

- Ένα άτομο χλωρίου μπορεί να σχηματίσει μόνο έναν ιοντικό δεσμό γιατί μπορεί να δεχθεί ένα μόνο επιπλέον ηλεκτρόνιο στη στιβάδα σθένους του.
- Ένα ανιόν χλωρίου είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό μόνο με το κατιόν νατρίου στο οποίο έδωσε το ηλεκτρόνιό του.
- Ένα ανιόν είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό με οποιοδήποτε γειτονικό του κατιόν.
- Στο διάγραμμα δείχνονται μόρια.



Πίνακας 3.12: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων A+B, 6^η Ερώτηση, Άριστα = 7 Μονάδες)

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 4)	A ₄ (n= 8)	A ₁ (n= 4)	A ₃ (n= 8)
M.O.	3,00	4,00	1,75	4,25
Τυπικές Αποκλίσεις	1,41	1,07	1,26	1,49
	A ₂ + A ₄ (n= 12)		A ₁ + A ₃ (n= 12)	
M.O.	3,67		3,42	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,23		1,83	

Στον Πίνακα 3.12 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 6^η ερώτηση της Α και Β σειράς θεμάτων. βαθμολογούνταν με 7 μονάδες (οι 3 μονάδες ήταν bonus). Αν τα δούμε συνολικά, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [A₂ + A₄ (n= 12)] εμφανίζουν λίγο καλύτερο

μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου $A_1 + A_3$ ($n= 12$), 3,67 έναντι 3,42, η διαφορά όμως είναι αμελητέα.

Πίνακας 3.13: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων A+B, 6^η Ερώτηση, Άριστα = 7 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A_2 ($n= 7$)	A_4 ($n= 13$)	A_1 ($n= 5$)	A_3 ($n= 10$)
M.O.	3,57	3,77	2,40	4,40
Τυπικές Αποκλίσεις	1,27	1,30	1,82	1,35
	$A_2 + A_4$ ($n= 20$)		$A_1 + A_3$ ($n= 15$)	
M.O.	3,70		3,73	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,26		1,75	

Στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 6^η ερώτηση της A και B σειράς θεμάτων. Αν τα δούμε συνολικά, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [$A_2 + A_4$ ($n= 20$)] εμφανίζουν σχεδόν τον ίδιο μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου [$A_1 + A_3$ ($n= 15$)], 3,70 έναντι 3,73. Δηλαδή, σε σχέση με τον προηγούμενο πίνακα μπορούμε να πούμε ότι παρατηρούμε μια ισορροπία.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 146. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 90. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι -0,11667. Η τιμή του p είναι 0,90448. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

Η πλήρης απάντηση στις ερωτήσεις 6A & 6B αντιστοιχούσε σε 7 μονάδες. Οι ερωτήσεις αυτές ήταν κλειστού τύπου (Σωστό/ Λάθος). Θα παρουσιάσουμε και στη συνέχεια θα συζητήσουμε τις απαντήσεις των μαθητών που στη συγκεκριμένη ερώτηση είχαν πολύ καλές επιδόσεις (από 5 έως 7 μονάδες). Με βάση τον Πίνακα 3.3 θα γίνει μια ταυτοποίηση των μαθητών αυτών (σε σχέση με το συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ). Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι από τους συνολικά 12 μαθητές που πέτυχαν καλή επίδοση στις συγκεκριμένες ερωτήσεις οι 6 ανήκαν σε τμήματα μεθοδολογίας και οι υπόλοιποι 6 σε τμήματα ελέγχου. Η βαθμολόγηση των ερωτήσεων στηρίχθηκε στο βαθμολογικό σχήμα που παρουσιάζεται στην αρχή του κεφαλαίου. Στον Πίνακα 3.14 παρουσιάζονται οι μαθητές που έλαβαν βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 5 στις ερωτήσεις 6A και 6B του τεστ.

Πίνακας 3.14: Οι μαθητές που έλαβαν βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 5 στις ερωτήσεις 6A και 6B του τεστ

Ερώτηση 6A			
α/α	Μαθητής	Βαθμός	Λάθος υποερωτήματα
1	ME2	7	Κανένα
2	ME1	5	3° & 5°
3	ME15	5	4° & 7°
4	MM2	5	4° & 6°
5	MM4β	5	4° & 6°
6	MM13	5	4° & 5°
7	MM19α	5	4° & 6°
Ερώτηση 6B			
α/α	Μαθητής	Βαθμός	Λάθος υποερωτήματα
1	ME4	5	1° & 2°
2	ME13	5	1° & 4°
3	ME14	5	1° & 2°
4	MM7	5	5° & 7°
5	MM17α	5	1° & 4°

3.14. Συμπεράσματα από την επίδοση των μαθητών στις ερωτήσεις 6Α και 6Β

1. Αν παρατηρήσουμε τον Πίνακα 3.14 θα δούμε ότι από αυτόν απουσιάζουν μαθητές που είχαν πολύ καλή συνολική βαθμολογική επίδοση. Πιο συγκεκριμένα, από τα τμήματα μεθοδολογίας απουσιάζουν οι μαθητές MM1 (ο οποίος είχε και την καλύτερη βαθμολογική επίδοση από όλους συνολικά τους μαθητές, 25,4), MM3 και MM4α. Δηλαδή από τους πέντε πρώτους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας οι τρεις δεν απάντησαν σωστά σε τουλάχιστον 5 υποερωτήματα των ερωτήσεων 6Α ή 6Β. Αντίστοιχα για τα τμήματα ελέγχου, για τους πέντε μαθητές με την καλύτερη βαθμολογική επίδοση, δεν απάντησαν σωστά σε τουλάχιστον 5 υποερωτήματα δύο μαθητές. Οι ME3 και ME5. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι ερωτήσεις αυτές δυσκόλεψαν τους καλούς μαθητές, διότι απαιτούσαν κριτική σκέψη και γενικά οι μαθητές τόσο στα τμήματα μεθοδολογίας όσο και στα τμήματα ελέγχου δεν διδάχθηκαν, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του χημικού δεσμού, παρόμοιες ερωτήσεις.
2. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι στους μαθητές του Πίνακα 3.14 συμπεριλαμβάνονται και 5 μαθητές, δύο από τα τμήματα μεθοδολογίας και τρεις από τα τμήματα ελέγχου, με πολύ χαμηλή συνολική βαθμολογική επίδοση. Οι μαθητές αυτοί είναι οι MM17α, MM19α, ME13, ME14 και ME15. Οι μαθητές αυτοί έχουν συνολική βαθμολογική επίδοση από 7 έως και 8, αρκετά χαμηλή σε σχέση με τις 5 μονάδες που λαμβάνουν στη συγκεκριμένη ερώτηση. Εδώ λοιπόν θα πρέπει να τονίσουμε και ένα σημαντικό μειονέκτημα των ερωτήσεων του τύπου «Σωστό/ Λάθος» χωρίς αιτιολόγηση. Οι ερωτήσεις 6Α και 6Β είναι «κλειστού τύπου» και επομένως δεν μπορούμε να γνωρίζουμε που στηρίχθηκε ο μαθητής για να επιλέξει τη συγκεκριμένη απάντηση, ούτε αν η επιλογή του ήταν απλώς τυχαία.
3. Από τα στοιχεία του Πίνακα 3.14 μπορούμε να δούμε σε ποια υποερωτήματα δεν απάντησαν σωστά οι περισσότεροι μαθητές. Κάποια υποερωτήματα της ερώτησης 6Α ταυτίζονται (αλλάζει μόνο η διατύπωση) με υποερωτήματα της ερώτησης 6Β. Έτσι λοιπόν ταύτιση έχουμε μεταξύ 4^{ου} υποερωτήματος της 6Α ερώτησης με το 1^ο υποερώτημα της 6Β ερώτησης. Εδώ απαντούν λάθος 9 μαθητές. Ταύτιση υπάρχει επίσης και μεταξύ των υποερωτημάτων, του 6^{ου} της 6Α και του 2^{ου} της 6Β, εδώ απαντούν λάθος 5 μαθητές. Ομοίως λάθος απάντηση δίνουν 4 συνολικά μαθητές στα υποερωτήματα 5 της ερώτησης 6Α και 4 της

ερώτησης 6B. Τα υποερωτήματα αυτά γενικά μπορούμε να πούμε ότι «μπέρδεψαν» τους περισσότερους μαθητές και σχετίζονται με παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με τον ιοντικό δεσμό.

4. Σχετικά με το 4^ο υποερώτημα της 6A ερώτησης (το οποίο είναι το ίδιο, με διαφορετική όμως διατύπωση, με το 1^ο υποερώτημα της ερώτησης 6B) μπορούμε να πούμε ότι δυσκολία που είχαν οι μαθητές σε αυτό συνδέεται με την παρανόηση των μαθητών σχετικά με τη δημιουργία του ιοντικού δεσμού. Οι μαθητές έχουν συνδέσει τον ιοντικό δεσμό με την μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα άτομο μετάλλου προς ένα άτομο αμετάλλου και το ότι ο δεσμός που δημιουργείται αφορά μόνο τα δύο ιόντα που σχηματίστηκαν από τη μεταφορά αυτή. Για τον παραπάνω λόγο, οι μαθητές δυσκολεύονται και στο 6^ο και 2^ο υποερώτημα των ερωτήσεων 6A και 6B αντίστοιχα. Νομίζουν δηλαδή ότι μια ιοντική ένωση, όπως το NaCl, είναι κάτι παρόμοιο με ένα διακριτό μόριο και όχι τμήμα ενός εκτεταμένου κρυσταλλικού πλέγματος. Τέλος σε λόγους παρόμοιους με τους παραπάνω οφείλονται και οι λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών στο 5^ο και 4^ο υποερώτημα των ερωτήσεων 6A και 6B αντίστοιχα.

3.15. Οι παρανοήσεις των μαθητών στον ιοντικό δεσμό

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία διάφορες παρανοήσεις των μαθητών που σχετίζονται με τον ιοντικό δεσμό είναι οι εξής:

1. Ο ιοντικός δεσμός αναφέρεται απλώς ως μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ διαφορετικών ατόμων με σκοπό αυτά να αποκτήσουν συμπληρωμένη στοιβάδα σθένους (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2018; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019) παρά ως η έλξη των ιόντων που προκύπτουν από τη μεταφορά ηλεκτρονίων (Özmen, 2004).
2. Ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός παρουσιάζονται ως εντελώς διαφορετικοί δεσμοί και όχι ως μια συνέχεια (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2018; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).
3. Η έννοια του μορίου συσχετίζεται όχι μόνο με τον ομοιοπολικό δεσμό αλλά και με τον ιοντικό (Barker & Millar, 2000; Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019) και χρησιμοποιείται η έννοια των ζευγών ιόντων (ιοντικός δεσμός) ως μορίων (Taber, 1997; Özmen, 2004). Επιπλέον, οι

- ιοντικές κρυσταλλικές δομές ή οι συνεχείς ομοιοπολικές (π.χ. διαμάντι, γραφίτης) περιέχουν μοριακά είδη (Birk & Kurtz, 1999; De Posada, 1997; Taber, 1997).
4. Η πλήρως συμπληρωμένη στοιβάδα σθένους (συνήθως με οκτώ ηλεκτρόνια) οδηγεί σε σταθερότητα (Joki & Aksela, 2018; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).
 5. Η «ηλεκτραρνητικότητα», η «πολικότητα δεσμού» και οι «δομές Lewis» συσχετίζονται από πολλούς μαθητές μόνο με ομοιοπολικές ενώσεις και όχι με τις ιοντικές (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2018; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).
 6. «Το ιοντικό φορτίο καθορίζει την πολικότητα του δεσμού» (Özmen, 2004, p. 151).
 7. Ο ιοντικός δεσμός δεν είναι ένας ισχυρός δεσμός (Özmen, 2004).
 8. Μόνο ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός θεωρούνται ως «πραγματικοί» χημικοί δεσμοί. Οι περισσότεροι διαμοριακοί δεσμοί θεωρούνται ως δυνάμεις (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2018; Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).
 9. Μερικοί μαθητές δεν συνδέουν την έννοια της πολικότητας με την ηλεκτραρνητικότητα (Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016).
 10. Μερικοί μαθητές συγχέουν τον ιοντικό με τον ομοιοπολικό δεσμό, για παράδειγμα νομίζουν ότι στον ιοντικό δεσμό υπάρχουν κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων (Özmen, 2004; Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016).
 11. Μια μικρή μειονότητα μαθητών πιστεύουν ότι κατά τη διάλυση του NaCl στο νερό, τα θετικά ιόντα νατρίου ξαναγίνονται ουδέτερα παίρνοντας πίσω το ηλεκτρόνιό τους από τα ανιόντα χλωρίου (Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016).
 12. Υπάρχουν μαθητές που πιστεύουν ότι στις ιοντικές ενώσεις οι δυνάμεις δεν ασκούνται προς όλες τις κατευθύνσεις (Barker & Millar, 2000; Özmen, 2004; Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016), ενώ κάποιοι άλλοι μαθητές προτείνουν ότι ομοιοπολικοί δεσμοί συγκρατούν τα άτομα νατρίου και χλωρίου μεταξύ τους (Butts & Smith, 1987; Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016). Μερικοί μαθητές θεωρούν ότι οι ιοντικοί δεσμοί συνδέουν τα μόρια μεταξύ τους, δημιουργώντας την κρυσταλλική δομή στο NaCl (Butts & Smith, 1987; Vladusic, Bucatb & Ozic, 2016).
 13. «Ένας ιοντικός δεσμός δημιουργείται μόνο μεταξύ των ατόμων που εμπλέκονται στη μεταφορά ηλεκτρονίων. Έτσι, στο στερεό χλωριούχο νάτριο, το ιόν νατρίου σχηματίζει έναν ιοντικό δεσμό με ένα ιόν χλωρίου και εμπλέκεται σε πέντε δυνάμεις με τα άλλα παρακείμενα ιόντα χλωρίου» (Özmen, 2004, p. 150).

14. «Το Na^+ και άλλα ιόντα είναι σταθερά επειδή έχουν συμπληρωμένη την εξωτερική τους στοιβάδα» (Özmen, 2004, p. 150).
15. Το σχήμα και η διαμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος μπορεί να επηρεαστεί από την πίεση (Özmen, 2004).
16. «Το γυαλί είναι μια ιοντική κρυσταλλική ουσία» (Özmen, 2004, p. 151).

3.16. Η ομάδα των ερωτήσεων 3A, 4A, 3B και 4B.

Οι παραπάνω τέσσερις ερωτήσεις είναι ερωτήσεις κρίσεως που χρησιμοποιήθηκαν και σε άλλη ερευνητική εργασία της ομάδας του ομότιμου καθηγητή κ. Γεωργίου Τσαπαρλή (Tsaparlis, Pappa, & Byers, 2018 / βλ. Κεφ. 2, Βιβλιογραφική ανασκόπηση). Στην εργασία αυτήν, σε ένα δείγμα τριών (3) δημόσιων λυκείων (Α΄ τάξη) ($n = 66$), ουσιαστικά τμήματα ελέγχου (χωρίς δηλαδή καμιά διδακτική παρέμβαση), οι ερωτήσεις στις «ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις», στην «πολικότητα δεσμού» και στην «ηλεκτραρνητικότητα» αποδείχτηκαν δύσκολες για τους μαθητές:

Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις 42,4%

Ηλεκτραρνητικότητα 43,9%

Πολικότητα δεσμού 36,4%

Χάριν συγκρίσεως, τα άλλα θέματα είχαν τις παρακάτω επιδόσεις:

Ηλεκτρόνια σθένους: 77,3%

Κανόνας οκτώ: 7,6%

Δομές Lewis: 30,3%

Κριτήρια για τύπο σχηματιζόμενου δεσμού: 54,5%.

Οι μαθητές αυτοί διδάχθηκαν από τους φυσικούς καθηγητές τους και χρησιμοποίησαν ως βασικό διδακτικό βιβλίο το επίσημο βιβλίο «Χημεία Α΄ Λυκείου» του ΟΕΔΒ. Αξίζει να προσθέσουμε ότι η ίδια έρευνα πραγματοποιήθηκε και σε ένα δείγμα ενός πολύ καλού ιδιωτικού σχολείου, που χωρίστηκε σε τμήματα ελέγχου ($n = 49$) με χρήση του σχολικού βιβλίου (συν σημειώσεις από τον καθηγητή) και σε τμήματα μεθοδολογίας ($n = 46$) που χρησιμοποίησαν εμπλουτισμένο ως προς τον χημικό δεσμό διδακτικό υλικό, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε και στην

παρούσα μελέτη (το υλικό αυτό έχει δημοσιευθεί στα αγγλικά ως παράρτημα 2 του παραπάνω άρθρου – Tsapralis et al. 2018). Ο επιδόσεις στις ίδιες ως άνω ερωτήσεις ήταν:

Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, Ελέγχου: 24,5% / Μεθοδολογίας: 87,0%

Ηλεκτραρνητικότητα, Ελέγχου: 71,4% / Μεθοδολογίας: 91,3%

Πολικότητα δεσμού, Ελέγχου: 18,4% / Μεθοδολογίας: 91,3%

Ηλεκτρόνια σθένους, Ελέγχου: 79,6% / Μεθοδολογίας: 89,1%

Κανόνας οκτώ, Ελέγχου: 8,2% / Μεθοδολογίας: 2,2%

Δομές Lewis, Ελέγχου: 100% / Μεθοδολογίας: 97,9%

Κριτήρια για τύπο σχηματιζόμενου δεσμού, Ελέγχου: 89,8% / Μεθοδολογίας: 95,6%

Οι ερωτήσεις έχουν ως εξής:

3Α: ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Στον ιοντικό δεσμό έχουμε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ενώ τέτοιες αλληλεπιδράσεις δεν έχουμε στον ομοιοπολικό δεσμό. (4 μονάδες, οι 2 bonus).

4Α: ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν και οι ομοιοπολικοί δεσμοί και οι ιοντικοί δεσμοί. (4 μονάδες, οι 2 bonus).

3Β: ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Η ηλεκτραρνητικότητα παίζει ρόλο και στο σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού και στο σχηματισμό του ιοντικού δεσμού. (4 μονάδες, οι 2 bonus).

4Β: ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν μόνο οι ομοιοπολικοί δεσμοί και όχι οι ιοντικοί δεσμοί. (4 μονάδες, οι 2 bonus).

Ουσιαστικά, οι ερωτήσεις 4Α και 4Β είναι ταυτόσημες, γι' αυτό θα τις εξετάσουμε πρώτα ως σύνολο.

3.16.1. Οι ερωτήσεις 4A και 4B

Πίνακας 3.15: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων A+B, 4^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 4)	A ₄ (n= 8)	A ₁ (n= 4)	A ₃ (n= 8)
M.O.	0,28	2,61	0,38	0,50
Τυπικές Αποκλίσεις	0,32	1,20	0,75	1,41
	A ₂ + A ₄ (n= 12)		A ₁ + A ₃ (n= 12)	
M.O.	1,83		0,46	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,50		1,20	

Στον Πίνακα 3.15 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 4^η ερώτηση της A+B σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Με εξαίρεση το τμήμα A₄, τα υπόλοιπα επιτυγχάνουν πολύ χαμηλές επιδόσεις (έτσι, μόνο ένας μαθητής του τμήματος A₃ βαθμολογείται με άριστα ενώ οι υπόλοιποι επτά λαμβάνουν βαθμό 0). Αν τα δούμε συνολικά, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [A₂ + A₄ (n= 12)] εμφανίζουν καλύτερο μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου [A₁ + A₃ (n= 12)], 1,83 έναντι 0,46.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 26. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 37. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι 2,62694. Η τιμή του p είναι 0,00854. Το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Εδώ έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

Πίνακας 3.16: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων A+B, 4^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 7)	A ₄ (n= 13)	A ₁ (n= 5)	A ₃ (n= 10)
M.O.	0,30	1,76	0,30	0,40
Τυπικές Αποκλίσεις	0,28	1,45	0,67	1,26
	A ₂ + A ₄ (n= 20)		A ₁ + A ₃ (n= 15)	
M.O.	1,25		0,37	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,37		1,08	

Στον Πίνακα 3.16 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 4^η ερώτηση της A+B σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Αν τα δούμε συνολικά, οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας [A₂ + A₄ (n= 20)] εμφανίζουν αρκετά καλύτερο μέσο όρο από αυτούς των τμημάτων ελέγχου [A₁ + A₃ (n= 15)], 1,25 έναντι 0,37. Πάντως οι επιδόσεις είναι πολύ χαμηλές.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 58. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 90. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι 3,05. Η τιμή του p είναι 0,00228. Το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Εδώ έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως η πλήρης απάντηση στις ερωτήσεις 4A και 4B αντιστοιχούσε σε 4 μονάδες. Θα δούμε στη συνέχεια τις απαντήσεις των μαθητών που στη συγκεκριμένη ερώτηση είχαν υψηλή βαθμολογία (από 3,5 έως και 4 μονάδες). Με

βάση τον Πίνακα 3.3 θα γίνει μια ταυτοποίηση των μαθητών αυτών (σε σχέση με τη συνολική βαθμολογική τους επίδοση στο τεστ). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι από τους τέσσερις μαθητές που έλαβαν αυτή την υψηλή βαθμολογία οι τρεις ανήκαν σε τμήμα μεθοδολογίας, στο τμήμα Α₄, και μόνο ένας σε τμήμα ελέγχου, στο τμήμα Α₃. Η βαθμολόγηση των ερωτήσεων στηρίχθηκε στο βαθμολογικό σχήμα που παρουσιάζεται στην αρχή του κεφαλαίου.

3.17. Οι απαντήσεις των μαθητών που έλαβαν υψηλή βαθμολογία στις ερωτήσεις 4A & 4B

1) Ερώτηση 4A, Βαθμός 4, Μαθητής Ελέγχου 1 (ME1)

Είναι σωστό, γιατί ξέρουμε ότι στους πολικούς [ομοιοπολικούς] δεσμούς έχουμε ένωση διαφορετικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, στους ετεροπολικούς [δεσμούς] έχουμε ένωση ετεροατόμων, δηλαδή μεταξύ μετάλλων (που τείνουν να αποβάλλουν e^-) και αμετάλλων (που τείνουν να προσλαμβάνουν e^-), άρα γίνεται ανάμεσα σε διαφορετικά στοιχεία κι έτσι εξασφαλίζεται η πολικότητα. Ενώ και στους ομοιοπολικούς δεσμούς έχουμε πολικότητα, καθώς ο δεσμός μπορεί να αναπτυχθεί και σε διαφορετικά στοιχεία (αμέταλλα κυρίως), όπου το κοινό ζεύγος έλκεται από το πιο ηλεκτραρνητικό (ανομοιόμορφη κατανομή e^-).

2) Ερώτηση 4B, Βαθμός 4, Μαθητής Μεθοδολογίας 1 (MM1)

Λ [Λάθος].

Πολικότητα εμφανίζουν και οι δύο δεσμοί. Στον ιοντικό δεσμό η πολικότητα είναι μεγαλύτερη ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις ιοντικών [ενώσεων] που η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας είναι μικρή. Επίσης στον ομοιοπολικό δεσμό υπάρχει πολικότητα όταν συνδέονται αμέταλλα άτομα διαφορετικών χημικών στοιχείων. Η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας είναι μεγάλη και το κοινό ζεύγος e^- έλκεται προς τη μεριά του ηλεκτραρνητικότερου ατόμου.

3) Ερώτηση 4A, Βαθμός 3,5, Μαθητής Μεθοδολογίας 2 (MM2)

Σωστό.

Υπάρχουν ομοιοπολικοί δεσμοί οι οποίοι είναι πολωμένοι. Οι δεσμοί αυτοί είναι ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα. Οι ιοντικοί δεσμοί είναι πάντα πολωμένοι διότι είναι

πάντα ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα. Άρα, πολικότητα υπάρχει και στους δύο δεσμούς.

4) Ερώτηση 4Α, **Βαθμός 4**, Μαθητής Μεθοδολογίας 3 (MM3)

Σωστό. Πολικότητα εμφανίζουν και οι 2 αυτοί δεσμοί όταν πρόκειται για ένωση ατόμων στοιχείων με διαφορετική ηλεκτραρνητικότητα.

3.18. Η ερώτηση 3Α

Πίνακας 3.17: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων Α, 3^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 3)	A₄ (n= 4)	A₁ (n= 3)	A₃ (n= 6)
M.O.	0,37	0,75	0,17	0,58
Τυπικές Αποκλίσεις	0,32	1,19	0,29	1,43
	A₂ + A₄ (n= 7)		A₁ + A₃ (n= 9)	
M.O.	0,59		0,44	
Τυπικές Αποκλίσεις	0,89		1,16	

Στον Πίνακα 3.17 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 3^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε εδώ ότι σε αυτή την ερώτηση οι μαθητές δεν τα πάνε καθόλου καλά. Προφανώς, ο όρος «αλληλεπίδραση» τους δυσκόλεψε πολύ ή μάλλον τον αγνοούν. Συγκεκριμένα για τα τμήματα μεθοδολογίας από τους επτά μαθητές οι τρεις παίρνουν βαθμό 0. Για τα τμήματα ελέγχου, η κατάσταση είναι ακόμη χειρότερη, από τους συνολικά εννέα μαθητές, οι επτά λαμβάνουν βαθμό 0. Ως αποτέλεσμα, τα τμήματα μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 7)**] και ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 9)**] έχουν παραπλήσιες πολύ χαμηλές μέσες επιδόσεις (0,59 και 0,44 αντίστοιχα).

Πίνακας 3.18: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων Α, 3^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 4)	A₄ (n= 8)	A₁ (n= 4)	A₃ (n= 6)
M.O.	0,28	0,56	0,12	0,58
Τυπικές Αποκλίσεις	0,32	0,82	0,25	1,43
	A₂ + A₄ (n= 12)		A₁ + A₃ (n= 10)	
M.O.	0,47		0,40	
Τυπικές Αποκλίσεις	0,69		1,10	

Στον Πίνακα 3.18 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 3^η ερώτηση της Α σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Προφανώς και εδώ, τα τμήματα μεθοδολογίας [**A₂ + A₄ (n= 12)**] και ελέγχου [**A₁ + A₃ (n= 10)**] έχουν παραπλήσιες πολύ χαμηλές μέσες επιδόσεις (0,47 και 0,40 αντίστοιχα).

3.19. Η ερώτηση 3B.

Πίνακας 3.19: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (Σειρά θεμάτων Β, 3^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A₂ (n= 1)	A₄ (n= 4)	A₁ (n= 1)	A₃ (n= 2)
M.O.	0	1,82	0	0,50
Τυπικές Αποκλίσεις		1,76		0,71
	A₂ + A₄ (n= 5)		A₁ + A₃ (n= 3)	

M.O.	1,46	0,33
Τυπικές Αποκλίσεις	1,73	0,58

Στον Πίνακα 3.19 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στην 3^η ερώτηση της Β σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Και στην περίπτωση αυτή έχουμε πολύ χαμηλές επιδόσεις: Μ.Ο. 1,46 για το τμήμα μεθοδολογίας και 0,33 για το τμήμα ελέγχου.

Πίνακας 3.20: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 (Σειρά θεμάτων Β, 3^η Ερώτηση, Άριστα = 4 Μονάδες)

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 3)	A ₄ (n= 5)	A ₁ (n= 1)	A ₃ (n= 4)
M.O.	0,33	1,46	0	0,25
Τυπικές Αποκλίσεις	0,29	1,73		0,50
	A ₂ + A ₄ (n= 8)		A ₁ + A ₃ (n= 5)	
M.O.	1,04		0,20	
Τυπικές Αποκλίσεις	1,44		0,45	

Στον Πίνακα 3.20 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στην 3^η ερώτηση της Β σειράς θεμάτων. Η πλήρης απάντηση του θέματος αυτού βαθμολογούνταν με 4 μονάδες (οι 2 μονάδες ήταν bonus). Όπως αναμένεται και στην περίπτωση αυτή έχουμε πολύ χαμηλές επιδόσεις: Μ.Ο. 1,04 για το τμήμα μεθοδολογίας και 0,20 για το τμήμα ελέγχου. Επίσης για τα τμήματα ελέγχου, από τους πέντε μαθητές οι τέσσερις λαμβάνουν βαθμό 0.

Η πλήρης απάντηση στην ερώτηση 3B αντιστοιχούσε σε 4 μονάδες. Θα δούμε στη συνέχεια τις απαντήσεις των μαθητών που έλαβαν βαθμολογία 2,5 και 4 μονάδες στην

ερώτηση αυτή. Οι δύο μαθητές που έλαβαν αυτές τις βαθμολογίες ανήκαν σε τμήμα μεθοδολογίας, στο τμήμα Α4. Η βαθμολόγηση των ερωτήσεων στηρίχθηκε στο βαθμολογικό σχήμα που παρουσιάζεται στην αρχή του κεφαλαίου.

3.19.1 Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3B

1) Βαθμός 4, Μαθητής Μεθοδολογίας 1 (MM1)

Ιοντικός δεσμός (μέταλλο – αμέταλλο)

Ομοιοπολικός δεσμός (αμέταλλο – αμέταλλο)

Ηλεκτραρνητικότητα εμφανίζουν τα αμέταλλα των ομάδων VA, VIA, VIIA. Ηλεκτραρνητικότητα είναι η τάση του ατόμου ενός χημικού στοιχείου να προσλαμβάνει e και να μετατρέπεται σε ανιόν. Στον ομοιοπολικό δεσμό όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των ατόμων τόσο πιο πολωμένος είναι ο δεσμός. Στον ιοντικό δεσμό η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των ατόμων είναι μεγάλη και έτσι η πόλωση σ' αυτόν τον δεσμό είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τον ομοιοπολικό. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις ιοντικών δεσμών που η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας δεν είναι μεγάλη. Έτσι αποδίδουμε σε ορισμένους δεσμούς χαρακτηριστικά ομοιοπολικού και ιοντικού χαρακτήρα.

2) Βαθμός 2,5, Μαθητής Μεθοδολογίας 7 (MM7)

Είναι σωστό. Η ηλεκτραρνητικότητα παίζει ρόλο στο σχηματισμό του ομοιοπολικού και στο σχηματισμό του ιοντικού δεσμού. Από αυτήν εξαρτάται εάν είναι ομοιοπολικός ή ιοντικός δεσμός.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι παραπάνω ερωτήσεις (3A, 3B, 4A και 4B) ήταν ερωτήσεις κρίσεως, όπου αναφερόταν και δοκιμάστηκε καλύτερα η σύγκριση ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και τα τμήματα ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση αφορούσε τις έννοιες: ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις (ερώτηση 3A), ηλεκτραρνητικότητα (ερώτηση 3B) και πολικότητα δεσμού (ερωτήσεις 4A και 4B). Οι επιδόσεις των μαθητών στις συγκεκριμένες έννοιες είχαν ως εξής:

Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις (ερώτηση 3A)

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.17 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 14,8%

&

Τμήματα ελέγχου: 11,0%

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.18 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 11,8% & Τμήματα ελέγχου: 10,0%

Ηλεκτραρνητικότητα (ερώτηση 3B)

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.19 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 36,5% & Τμήματα ελέγχου: 8,3%

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.20 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 26% & Τμήματα ελέγχου: 5,0%

Πολικότητα δεσμού (ερωτήσεις 4A και 4B)

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.15 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 45,8% & Τμήματα ελέγχου: 11,5%

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.16 (για τους μαθητές που έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) προκύπτει ότι:

Τμήματα μεθοδολογίας: 31,3% & Τμήματα ελέγχου: 9,3%

Παρατηρούμε, ότι με εξαίρεση τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις (όπου δεν είχαμε ουσιαστική διαφορά), στην ηλεκτραρνητικότητα και την πολικότητα δεσμού είχαμε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας και των τμημάτων ελέγχου.

3.20. Η συνέντευξη στους μαθητές

Μετά τη διόρθωση των τεστ, κλήθηκαν σε μια προφορική από το διδάσκοντα συνέντευξη οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας που είχαν τις καλύτερες βαθμολογικές επιδόσεις. Οι μαθητές ερωτήθηκαν σχετικά με τα έγχρωμα σχήματα /

εικόνες που τους δόθηκαν (βλ. 2η σελίδα, Παραρτήματος 3.1, στο τέλος του κεφαλαίου). Πιο συγκεκριμένα κλήθηκαν 5 μαθητές του τμήματος Α₄ που οι βαθμολογικές επιδόσεις τους στο τεστ κυμαίνονταν από 15,4 έως 25,4. Οι συνεντεύξεις ήταν ατομικές, προκειμένου να μην επηρεάζονται οι απαντήσεις ενός μαθητή από άλλους μαθητές και πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα 5 Μαΐου 2015 έως και 8 Μαΐου 2015.

Πριν να αρχίσει η συνέντευξη, δείξαμε στους μαθητές τα έγχρωμα σχήματα/εικόνες (βλ. 2η σελίδα, Παραρτήματος 3.1, στο τέλος του κεφαλαίου), αυτά που τους είχαμε δώσει και κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Κατόπιν θέσαμε στους μαθητές τα εξής ερωτήματα:

1^η Ερώτηση: Τα κατάλαβες τα σχήματα, δηλαδή τι παριστάνουν τα διάφορα χρώματα των σχημάτων (πράσινο, μπλε, κόκκινο);

2^η Ερώτηση: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

3^η Ερώτηση: Σου άρεσαν; Προτείνεις να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

1^{ος} Μαθητής τμήματος Α₄ (MM1, συνολική βαθμολογική επίδοση: 25,4)

Ερ.: Στο υλικό που σου δόθηκε, τα έγχρωμα σχήματα, τα κατάλαβες;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Τι παριστάνουν το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε χρώμα;

Απ.: Το πράσινο παριστάνει τις ηλεκτρικά ουδέτερες περιοχές, το κόκκινο την ηλεκτραρνητικότητα/αρνητικό φορτίο, ενώ το μπλε την ηλεκτροθετικότητα/θετικό φορτίο.

Ερ.: Στο σχήμα 9, σε τι διαφέρει το αριστερό από το δεξί σχήμα;

Απ.: Το αριστερό είναι ελλειψοειδές, μόριο H₂.

Ερ.: Όσον αφορά το φορτίο του κάθε ενός σχήματος, τι μπορούμε να πούμε;

Απ.: Στο μόριο H₂ έχω ουδέτερες περιοχές (μη πολωμένο μόριο). Στο μόριο του H₂O μεγάλη πολικότητα (πολωμένο μόριο). Στο πράσινο χρώμα αντιστοιχεί ουδέτερη περιοχή, στο κόκκινο ηλεκτραρνητικότητα/αρνητικό φορτίο και στο μπλε χρώμα αντιστοιχεί ηλεκτροθετικότητα/θετικό φορτίο.

Ερ.: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

Απ.: Ναι

Ερ.: Σου άρεσαν; Προτείνεις να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

Απ.: Ναι. Πιστεύω πως πρέπει να υπάρχουν (στο σχολικό βιβλίο) αν συνοδεύονται βέβαια και με τις κατάλληλες επεξηγήσεις.

2^{ος} Μαθητής τμήματος Α₄ (ΜΜ2, συνολική βαθμολογική επίδοση: 20,2)

Ερ.: Στο υλικό που σου δόθηκε, τα έγχρωμα σχήματα, τα κατάλαβες;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Τι παριστάνουν το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε χρώμα;

Απ.: Το πράσινο χρώμα παριστάνει ουδέτερο φορτίο, το κόκκινο θετικό φορτίο, ενώ το μπλε αρνητικό φορτίο.

Ερ.: Στο σχήμα 9, ποιο από τα δύο μόρια είναι πολωμένο;

Απ.: Το αριστερό είναι πολωμένο.

Ερ.: Το δεξί τι είναι;

Απ.: Είναι μη πολωμένο.

Ερ.: Πού όμως εμφανίζονται διαφορετικά χρώματα; Ποιο μόριο έχει διαφορετικά χρώματα;

Απ.: Το δεξί.

Ερ.: Από ποια άτομα αποτελείται το μόριο του νερού;

Απ.: Δεν θυμάμαι. Έχει ένα οξυγόνο και ...

Ερ.: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

Απ.: Ναι, με βοήθησαν.

Ερ.: Σου άρεσαν; Προτείνεις να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

Απ.: Ναι, αν συνοδεύονται και με τις κατάλληλες επεξηγήσεις.

3^{ος} Μαθητής τμήματος Α₄ (ΜΜ3, συνολική βαθμολογική επίδοση: 16,8)

Ερ.: Στο υλικό που σου δόθηκε, τα έγχρωμα σχήματα, τα κατάλαβες;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Τι παριστάνουν το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε χρώμα;

Απ.: Με κόκκινο χρώμα το οξυγόνο και με μπλε χρώμα το υδρογόνο (σημείωση: αναφέρεται στο σχήμα 9 – μόριο νερού).

Ερ.: Γενικά, όσον αφορά το φορτίο, που αντιστοιχεί το κάθε χρώμα;

Απ.: Το πράσινο στις ουδέτερες περιοχές, το κόκκινο στις αρνητικές περιοχές, ενώ το μπλε στις θετικές περιοχές.

Ερ.: Στο σχήμα 9, ποιο μόριο είναι πολωμένο;

Απ.: Το αριστερό είναι πολωμένο.

Ερ.: Το δεξί τι είναι;

Απ.: Λάθος, το αριστερό είναι μη πολωμένο και το δεξί πολωμένο.

Ερ.: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Σου άρεσαν; Θα ήταν χρήσιμα να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

Απ.: Ναι, θα ήταν χρήσιμα για τους μαθητές που διαβάζουν.

4^{ος} Μαθητής τμήματος Α₄ (ΜΜ4α, συνολική βαθμολογική επίδοση: 15,4)

Ερ.: Στο υλικό που σου δόθηκε, τα έγχρωμα σχήματα, τα κατάλαβες;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Τι παριστάνουν το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε χρώμα;

Απ.: Το πράσινο παριστάνει τις ηλεκτρικά ουδέτερες περιοχές, το κόκκινο το αρνητικό φορτίο, ενώ το μπλε το θετικό φορτίο.

Ερ.: Στο σχήμα 9 ποιο μόριο είναι πολωμένο;

Απ.: Το H₂ είναι μη πολωμένο ενώ το H₂O πολωμένο διότι έχει υδρογόνο και οξυγόνο.

Ερ.: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

Απ.: Ναι

Ερ.: Σου άρεσαν; Θα ήταν χρήσιμα να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

Απ.: Ναι, θα ήταν χρήσιμα, αν συνοδεύονταν βέβαια και με καλές επεξηγήσεις.

5^{ος} Μαθητής τμήματος Α₄ (ΜΜ4β, συνολική βαθμολογική επίδοση: 15,4)

Ερ.: Στο υλικό που σου δόθηκε, τα έγχρωμα σχήματα, τα κατάλαβες;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Τι παριστάνουν το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε χρώμα;

Απ.: Δεν θυμάμαι, πέρασε πολύς καιρός και πρέπει να τα ξαναδιαβάσω να τα θυμηθώ.

Ερ.: Στο σχήμα 9 ποιο μόριο είναι πολωμένο;

Απ.: Το αριστερό μόριο είναι το πολωμένο.

Ερ.: Το δεξί τι είναι;

Απ.: Λάθος, το δεξί είναι πολωμένο αλλά δεν θυμάμαι γιατί.

Ερ.: Τα σχήματα αυτά τα βρήκες χρήσιμα, π.χ. στην κατανόηση της πολικότητας των δεσμών;

Απ.: Ναι.

Ερ.: Σου άρεσαν; Προτείνεις να υπάρχουν στο σχολικό βιβλίο;

Απ.: Ναι.

3.20.1. Συμπεράσματα από τη συνέντευξη

Όλοι οι μαθητές απάντησαν ότι κατανόησαν το υλικό με τα έγχρωμα σχήματα που τους δόθηκε. Επίσης, με εξαίρεση τον 5^ο μαθητή, σε γενικές γραμμές οι μαθητές απάντησαν σωστά στο τι σημαίνουν τα διάφορα χρώματα στα σχήματα των μορίων. Από τους πέντε μαθητές, οι τέσσερις διέκριναν σωστά το πολωμένο από το μη πολωμένο μόριο και οι δύο από αυτούς έδωσαν και σωστή αιτιολόγηση. Όλοι οι μαθητές απάντησαν ότι βρήκαν χρήσιμα τα σχήματα αυτά (όσον αφορά την κατανόηση της πολικότητας). Τέλος όλοι οι μαθητές πρότειναν ότι τα σχήματα αυτά θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στο σχολικό βιβλίο.

3.21. Γραπτές προαγωγικές εξετάσεις - Περίοδος: Μαΐου - Ιουνίου

Όπως αναφέραμε προηγουμένως ελήφθησαν υπόψη και οι επιδόσεις των μαθητών στις τελικές γραπτές προαγωγικές εξετάσεις, δεδομένου ότι τα τμήματα δεν ήταν ισοδύναμα όσον αφορά την επίδοση των μαθητών στο μάθημα της χημείας. Για αυτό θεωρήσαμε σημαντικό να λάβουμε την μεταβλητή αυτή ως μια επιπλέον παράμετρο.

Η βαθμολόγηση των μαθητών έγινε με άριστα το 100 και αναγωγή στην εικοσαβάθμια κλίμακα. Εκτός από τη συνολική επίδοση των μαθητών, λάβαμε υπόψη και την επίδοσή τους στα τρία πρώτα υποερωτήματα του τετάρτου θέματος, τα οποία σχετίζονται τόσο με το χημικό δεσμό όσο και με τη μορφή κάποιων ερωτήσεων του τεστ της έρευνάς μας. Τα θέματα των εξετάσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα 3.3 στο τέλος του κεφαλαίου.

Όπως ακριβώς πράξαμε και στην περίπτωση της έρευνάς μας, για να μην λάβουμε υπόψη την επίδοση των «αδιάφορων» μαθητών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν την έρευνά σε ανασφαλή συμπεράσματα, εστίασαμε στους μαθητές με συνολική βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 10 και κατόπιν σε αυτούς που είχαν συνολική βαθμολογία μεγαλύτερη είτε ίση του 7.

Οι μαθητές που έλαβαν μέρος στις προαγωγικές εξετάσεις ήταν συνολικά 78. Από αυτούς οι 39 ήταν μαθητές των τμημάτων ελέγχου (A_1 και A_3) και οι υπόλοιποι 39 ήταν μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας (A_2 και A_4). Συνολικό βαθμό μικρότερο του 10 έλαβαν 24 μαθητές των τμημάτων ελέγχου (61,5%) και 20 μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας (52,3%). Οι μαθητές που έλαβαν συνολικό βαθμό μικρότερο του 7, ήταν 16 (41%) για τα τμήματα ελέγχου και 17 (43,6%) για τα τμήματα μεθοδολογίας.

Οι «αδιάφοροι» μαθητές στηρίχθηκαν κυρίως στο 1^ο θέμα (βλ. Παράρτημα 3.3, στο τέλος του κεφαλαίου), το οποίο και αποτελούνταν από ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που δεν απαιτούσαν αιτιολόγηση (ερωτήσεις κλειστού τύπου). Το θέμα αυτό είχε ως άριστα το 25 στην κλίμακα του 100 ή το 5 στην κλίμακα του 20. Για το λόγο αυτό, οι επιδόσεις των «αδιάφορων» μαθητών αυτών ήταν αρκετά χαμηλές. Θα πρέπει εδώ να επισημάνουμε δύο σημαντικές παραμέτρους: α) Στις προαγωγικές εξετάσεις του Ιουνίου είναι υποχρεωμένοι να συμμετάσχουν όλοι οι μαθητές προκειμένου να προαχθούν στην επόμενη τάξη, σε αντίθεση με την γραπτή δοκιμασία (τεστ) όπου ένας αριθμός μαθητών απουσίαζε την ημέρα διεξαγωγής της εξέτασης. β) Υπήρξαν μαθητές που ενώ στις προαγωγικές εξετάσεις έλαβαν βαθμό μεγαλύτερο της βαθμολογικής βάσης του 10, την ημέρα διεξαγωγής του τεστ δεν απάντησαν καμία από τις ερωτήσεις, ούτε αυτές που δεν απαιτούσαν αιτιολόγηση. Ο κύριος λόγος που έγινε αυτό είναι ότι θεώρησαν το τεστ ως όχι και τόσο σημαντικό σε σχέση με τις προαγωγικές εξετάσεις που έχουν σημαντική επίδραση τόσο στο βαθμολογικό μέσο όρο, όσο και στην προαγωγή τους στην επόμενη τάξη. Επίσης οι επιδόσεις των μαθητών στις προαγωγικές εξετάσεις είναι γενικά καλύτερες σε σχέση με τη γραπτή δοκιμασία (τεστ). Αυτό οφείλεται στο ότι τα θέματα των προαγωγικών εξετάσεων τα είχαν

διδασκεί οι μαθητές κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς και επομένως ήταν για αυτούς αρκετά πιο εύκολο να απαντηθούν.

Πίνακας 3.21: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂ (n= 7)	A ₄ (n= 12)	A ₁ (n= 7)	A ₃ (n= 8)
1	19	20	19	20
2	19	19,8	18,4	19,8
3	16	19,6	15	19,2
4	12	16,4	14	17
5	11	14,4	12	16
6	11	14	12	15
7	10	14	11	14,6
8		13		13
9		12		
10		10,6		
11		10		
12		10		
M.O.	14,00	13,98	13,73	16,82
Τυπικές Αποκλίσεις	3,92	3,73	3,18	2,62
	A₂ + A₄ (n= 19)		A₁ + A₃ (n= 15)	
M.O.	14,31		15,73	
Τυπικές Αποκλίσεις	3,70		3,04	

Στον Πίνακα 3.21 καταγράφονται οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 10 (εικοσαβάθμια κλίμακα) στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις. Τα τμήματα A_2 & A_4 (αμφότερα πειραματικά) και A_1 (ελέγχου) παρουσιάζουν παρόμοιες επιδόσεις (Μ.Ο. 14,00 / 13,98/ 13,73 αντιστοίχως. Αντίθετα, το τμήμα A_3 (ελέγχου) εμφανίζει υψηλότερη επίδοση (Μ.Ο. 16,82). Εν συνεχεία, αθροιστικά, τα τμήματα ελέγχου ($A_1 + A_3$, $n = 15$) παρουσιάζουν καλύτερο μέσο όρο σε σχέση με τα τμήματα μεθοδολογίας ($A_2 + A_4$, $n = 19$): 15,73 έναντι 14,31.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 104. Η κρίσιμη τιμή του U για $p < 0,05$ είναι 85. Για αυτό το λόγο το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό.

Το αποτέλεσμα του z είναι -1,31801. Η τιμή του p είναι 0,18684. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

Πίνακας 3.22: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A_2 (n= 9)	A_4 (n= 13)	A_1 (n= 10)	A_3 (n= 13)
1	19	20	19	20
2	19	19,8	18,4	19,8
3	16	19,6	15	19,2
4	12	16,4	14	17
5	11	14,4	12	16
6	11	14	12	15
7	10	14	11	14,6
8	8	13	8	13

9	7	12	7,6	9
10		10,6	7	7
11		10		7
12		10		7
13		9		6,8
M.O.	12,56	13,57	11,67	13,18
Τυπικές Αποκλίσεις	4,45	3,88	4,25	5,22
	A₂ + A₄ (n= 22)		A₁ + A₃ (n= 23)	
M.O.	13,45		12,84	
Τυπικές Αποκλίσεις	4,09		4,74	

Στον Πίνακα 3.22 καταγράφονται οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 7 (εικοσαβάθμια κλίμακα) στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις. Εδώ, σε σχέση με τον προηγούμενο πίνακα, η κατάσταση μεταξύ τμημάτων ελέγχου και μεθοδολογίας εμφανίζεται πιο «ισορροπημένη», τόσο στον αριθμό των μαθητών όσο και στους μέσους όρους. Έτσι τα τμήματα μεθοδολογίας συνολικά εμφανίζουν λίγο καλύτερο μέσο όρο σε σχέση με τα τμήματα ελέγχου, 13,45 έναντι 12,84. Αν εξετάσουμε τις επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα, θα δούμε ότι το τμήμα A₄ εμφανίζει παρόμοια επίδοση από το A₃, 13,57 έναντι 13,18. Για τα τμήματα A₂ και A₁ παρατηρώ μια μικρή υπεροχή του πρώτου, 12,56 έναντι 11,67.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 232,5. Η κατανομή είναι κατά προσέγγιση κανονική. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί το αποτέλεσμα z.

Το αποτέλεσμα του z είναι -0,68169. Η τιμή του p είναι 0,4965. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

3.21.1. Συμπεράσματα από τη συνολική επίδοση των μαθητών στις γραπτέςπροαγωγικές εξετάσεις

Από τα αποτελέσματα της συνολικής επίδοσης των μαθητών στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις καταλήγουμε στο ότι τα τέσσερα τμήματα (ελέγχου και μεθοδολογίας) δεν είναι μεταξύ τους ισοδύναμα. Αυτό ήταν βέβαια ήδη γνωστό στο διδάσκοντα σε όλη τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς, τόσο από τις προφορικές επιδόσεις των μαθητών όσο και από τις γραπτές τους επιδόσεις (τεστ, διαγωνίσματα). Λαμβάνοντας υπόψη τις επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα που εμφανίζονται στους Πίνακες 3.21 και 3.22, τα τμήματα εμφανίζουν μια σχετική ισοδυναμία ανά ζεύγη A_1 με A_2 και A_3 με A_4 . Από τους ίδιους πίνακες προκύπτει ότι το τμήμα A_2 εμφανίζεται να είναι λίγο καλύτερο από το A_1 , ενώ το A_3 λίγο καλύτερο από το A_4 . Όσον αφορά τη συνολική επίδοση τόσο των τμημάτων ελέγχου όσο και των τμημάτων μεθοδολογίας, οι μαθητές των τμημάτων ελέγχου φαίνεται ότι επιτυγχάνουν λίγο καλύτερες επιδόσεις στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις. Επομένως τα τμήματα ελέγχου πιθανώς να είχαν συνολικά καλύτερους μαθητές από τα τμήματα μεθοδολογίας, με αποτέλεσμα στις «ουδέτερες» (μη επηρεαζόμενες από την παρέμβαση) ερωτήσεις να έχουν επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα, αντίθετα στις ερωτήσεις τις σχετικές με την παρέμβαση έχουν επιτύχει ελαφρώς χειρότερα αποτελέσματα.

Πίνακας 3.23: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10 στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις για το 4° Θέμα ($\alpha + \beta + \gamma$ υποερωτήματα).

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A_2	A_4	A_1	A_3
M.O.	11,43	11,73	8,83	13,25
Τυπικές Αποκλίσεις	3,69	3,02	4,03	1,83
	$A_2 + A_4$ (n= 19)		$A_1 + A_3$ (n= 15)	
M.O.	11,79		11,57	
Τυπικές Αποκλίσεις	3,19		3,46	

Στον Πίνακα 3.23 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10) στο 4° θέμα, για το άθροισμα των υποερωτημάτων α, β και γ. Οι βαθμολόγηση έχει γίνει στην κλίμακα του 100 και το άριστα αντιστοιχεί σε 15 μόρια. Τα τμήματα μεθοδολογίας, στα συγκεκριμένα υποερωτήματα, εμφανίζουν παρόμοιο μέσο όρο σε σχέση με τα τμήματα ελέγχου, 11,79 έναντι 11,57. Αν εξετάσουμε τις επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα θα δούμε ότι το τμήμα A₃ εμφανίζει καλύτερη επίδοση από το A₄, 13,25 έναντι 11,73, ενώ το A₂ εμφανίζει πολύ καλύτερη επίδοση από το A₁, 11,43 έναντι 8,83.

Πίνακας 3.24: Οι επιδόσεις των μαθητών που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7 στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις για το 4° Θέμα (α + β + γ υποερωτήματα).

	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	A ₂	A ₄	A ₁	A ₃
M.O.	10,44	11,08	8,33	10,38
Τυπικές Αποκλίσεις	4,04	3,64	3,53	4,23
	A ₂ + A ₄ (n= 22)		A ₁ + A ₃ (n= 23)	
M.O.	11,00		9,78	
Τυπικές Αποκλίσεις	3,74		3,92	

Στον Πίνακα 3.24 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των μαθητών (που έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7) στο 4° θέμα, για το άθροισμα των υποερωτημάτων α, β και γ. Οι βαθμολόγηση έχει γίνει στην κλίμακα του 100 και το άριστα αντιστοιχεί σε 15 μόρια. Τα τμήματα μεθοδολογίας, στα συγκεκριμένα υποερωτήματα, εμφανίζουν λίγο καλύτερο μέσο όρο σε σχέση με τα τμήματα ελέγχου, 11,00 έναντι 9,78. Αν εξετάσουμε τις επιδόσεις των μαθητών ανά τμήμα θα δούμε ότι το τμήμα A₄ εμφανίζει καλύτερη επίδοση από το A₃, 11,08 έναντι 10,38, ενώ το A₂ εμφανίζει καλύτερη επίδοση από το A₁, 10,44 έναντι 8,33. Το αξιοσημείωτο εδώ είναι ότι τα τμήματα A₂ και A₃ εμφανίζουν παραπλήσιες επιδόσεις.

Στη συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση με βάση το στατιστικό κριτήριο Mann-Whitney.

Mann-Whitney U Test

Η τιμή του U είναι 210,5. Η κατανομή είναι κατά προσέγγιση κανονική. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί το αποτέλεσμα z.

Το αποτέλεσμα του z είναι -0,95364. Η τιμή του p είναι 0,34212. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα τμήματα μεθοδολογίας και στα τμήματα ελέγχου.

3.21.2. Οι μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στο τεστ και οι επιδόσεις στους στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις

Στη συνέχεια θα δούμε για τους μαθητές που είχαν βαθμολογία στο τεστ άνω του 13, τις βαθμολογικές τους επιδόσεις στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις. Απλώς εδώ θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι ο μέγιστος βαθμός του τεστ ήταν το 30 ενώ για τις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις χρησιμοποιείται η κλίμακα του 20. Οι μαθητές αυτοί προέρχονται μόνο από δύο τμήματα, ένα μεθοδολογίας (A₄, έξι μαθητές) και ένα ελέγχου (A₃, πέντε μαθητές). Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει τις επιδόσεις των 11 αυτών μαθητών στις δύο αυτές γραπτές αξιολογήσεις, αλλά και τους μέσους όρους που προκύπτουν.

Πίνακας 3.25: Οι επιδόσεις, των 11 πρώτων μαθητών του τεστ, στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.

Τμήμα Μεθοδολογίας (A ₄)			Τμήμα Ελέγχου (A ₃)		
	Βαθμολογία Τεστ	Βαθμολογία Προαγωγικών Εξετάσεων		Βαθμολογία Τεστ	Βαθμολογία Προαγωγικών Εξετάσεων
MM1	25,4	20	ME1	21,3	20
MM2	20,2	19,6	ME2	20,2	19,8
MM3	16,8	14	ME3	17,7	14,6
MM4α	15,4	19,8	ME4	15,5	19,2
MM4β	15,4	12	ME5	13,5	15
MM6	13,6	13			
M.O.	17,8	16,4		17,6	17,7

Παρατηρώντας τον Πίνακα 3.25, μπορούμε να πούμε ότι οι επιδόσεις των 11 πρώτων μαθητών του τεστ είναι καλές έως άριστες και στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις. Επομένως οι μαθητές που πέτυχαν καλές επιδόσεις στο τεστ μπορούμε να πούμε ότι είχαν και καλές βαθμολογικές επιδόσεις στις προαγωγικές εξετάσεις. Όσον αφορά τους μέσους όρους στο τεστ, τόσο το τμήμα μεθοδολογίας όσο και το τμήμα ελέγχου είχαν παραπλήσιες επιδόσεις στο τεστ, 17,8 έναντι 17,6. Σε σχέση όμως με τις προαγωγικές εξετάσεις το τμήμα ελέγχου είχε λίγο καλύτερη επίδοση, 17,7 έναντι 16,4.

3.21.3. Οι μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις

Στη συνέχεια θα «εντοπίσουμε» τους μαθητές με τις καλύτερες επιδόσεις στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις που ανήκαν τόσο σε τμήματα μεθοδολογίας όσο και σε τμήματα ελέγχου. Στον πίνακα που ακολουθούν γίνεται μια φθίνουσα ταξινόμηση για τους έξι πρώτους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας και για τους έξι πρώτους μαθητές των τμημάτων ελέγχου και καταγράφονται και οι μέσοι όροι των βαθμολογικών τους επιδόσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι δέκα καλύτερες βαθμολογικές επιδόσεις βρίσκονται στην κλίμακα του άριστα (18,5 – 20), με εξαίρεση έναν μαθητή που είχε βαθμολογία 18,4.

Πίνακας 3.26: Οι επιδόσεις των 12 πρώτων μαθητών στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις.

α/α	Τμήματα μεθοδολογίας		Τμήματα ελέγχου	
	Μαθητής Μεθοδολογίας	Βαθμολογική επίδοση	Μαθητής Ελέγχου	Βαθμολογική επίδοση
1	MM1	20	ME1	20
2	MM4α	19,8	ME2	19,8
3	MM2	19,6	ME4	19,2
4	MM10	19	ME6	19
5	MM15	19	ME7	18,4
M.O. (n = 5)		19,48		19,28
6	MM19β	16,4	ME11	17
M.O. (n = 6)		18,97		18,90

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.26, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει ισοδυναμία στις βαθμολογικές επιδόσεις μεταξύ των έξι πρώτων μαθητών των τμημάτων ελέγχου

και των έξι πρώτων μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας. Επίσης ισοδυναμία παρατηρείται και για τους μέσους όρους των πέντε πρώτων μαθητών, 19,48 για τα τμήματα μεθοδολογίας έναντι 19,28 για τα τμήματα ελέγχου. Ισοδυναμία έχω και για τους μέσους όρους των έξι πρώτων μαθητών, 18,97, για τα τμήματα μεθοδολογίας, έναντι 18,90, για τα τμήματα ελέγχου. Παρατηρώντας τώρα τον Πίνακα 3.26 αλλά και τον Πίνακα 3.3, θα διαπιστώσουμε ότι από τον Πίνακα 3.26 απουσιάζουν μαθητές που είχαν καλή βαθμολογική επίδοση στο τεστ. Έτσι από τους πέντε πρώτους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας (βλ. Πίνακα 3.3) από τον Πίνακα 3.26 απουσιάζουν οι μαθητές MM3 και MM4β. Ομοίως από τους πέντε πρώτους μαθητές των τμημάτων ελέγχου (βλ. Πίνακα 3.3) από τον Πίνακα 3.26 απουσιάζουν οι μαθητές ME3 και ME5. Το αξιοσημείωτο εδώ είναι ότι την πρώτη εξάδα για τα τμήματα μεθοδολογίας (Πίνακας 3.26), συμπληρώνουν δύο μαθητές που είχαν χαμηλή βαθμολογική επίδοση στο τεστ. Αυτοί οι μαθητές είναι ο MM15 και ο MM19β οι οποίοι είχαν στο τεστ βαθμολογική επίδοση 8,4 και 7 αντίστοιχα (βλ. Πίνακα 3.3). Αυτό δικαιολογείται από τη δυσκολία που έχουν πολλοί μαθητές της α' λυκείου να κατανοήσουν το κεφάλαιο του χημικού δεσμού στο μάθημα της χημείας. Τέλος κανένας μαθητής με βαθμολογία στο τεστ μικρότερη του 7 δεν συμπεριλαμβάνεται στον παραπάνω Πίνακα.

ΜΕΡΟΣ Δ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ SPEARMAN & PEARSON

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε: α) τον συντελεστή συσχέτισης Spearman και β) τον συντελεστή συσχέτισης Pearson. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι παραμετρικό τεστ (μεγάλα δείγματα, κανονική κατανομή) και ο συντελεστής συσχέτισης Spearman απαμετρικό τεστ (μικρά δείγματα, μη κανονική κατανομή). Αν τα μεγέθη του δείγματος είναι μικρότερα του 30, τότε θα λάβουμε υπόψη τον συντελεστή συσχέτισης Spearman, ενώ αν και ο συντελεστής συσχέτισης Pearson δίνει ίδιο συμπέρασμα, τότε ο Pearson επιδρά ενισχυτικά στον Spearman.

Θα υπολογίσουμε τον συντελεστή συσχέτισης ανάμεσα στις επιδόσεις των ίδιων μαθητών, i) στο συνολικό τεστ και ii) στις τελικές προαγωγικές εξετάσεις του Ιουνίου. Θα χρησιμοποιήσουμε δύο δείγματα μαθητών: α) αυτούς με επίδοση μεγαλύτερη είτε ίση του 10 στο συνολικό τεστ και β) αυτούς με επίδοση μεγαλύτερη είτε ίση του 7 στο συνολικό τεστ. Αυτός ο υπολογισμός θα πραγματοποιηθεί τρεις φορές: Την πρώτη για

τα τμήματα μεθοδολογίας συνολικά, την δεύτερη για τα τμήματα ελέγχου συνολικά και τέλος την τρίτη θα γίνει αθροιστικά για τα τμήματα μεθοδολογίας και ελέγχου. Για κάθε μαθητή θα εισαγάγουμε ως δεδομένα τον βαθμό του τεστ και τον βαθμό στην τελική προαγωγική εξέταση του Ιουνίου. Η κλίμακα στην οποία υπολογίστηκαν οι βαθμολογικές επιδόσεις των μαθητών δεν θα τροποποιηθεί (η κλίμακα 0 – 30 αφορούσε το τεστ, ενώ η κλίμακα 0 – 20 αφορούσε τις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις του Ιουνίου). Τέλος θα εξετάσουμε αν οι συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές ή όχι. Είναι σημαντικό εδώ να υπενθυμίσουμε ότι ενώ στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις συμμετείχαν όλοι οι μαθητές, στο τεστ την ημέρα διεξαγωγής του απουσίαζαν ορισμένοι μαθητές. Για το λόγο αυτό, στον υπολογισμό των παραπάνω συντελεστών θα συμπεριλάβουμε μόνο τους μαθητές που συμμετείχαν τόσο στις γραπτές προαγωγικές εξετάσεις όσο και στο τεστ.

4.1) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα μεθοδολογίας (A₂ & A₄)

i) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 10

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι επιδόσεις των μαθητών στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 10.

Πίνακας 3.27: Οι επιδόσεις των μαθητών (στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις), των τμημάτων μεθοδολογίας, που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10.

Μαθητές Μεθοδολογίας (n = 12)	Συνολικός βαθμός τεστ	Βαθμός προαγωγικών εξετάσεων
MM1	25,4	20
MM2	20,2	19,6
MM3	16,8	14
MM4α	15,4	19,8
MM4β	15,4	12

MM6	13,6	13
MM7	12,7	10
MM8	11,7	19
MM9	11,3	12
MM10	11,2	19
MM11	10,4	10
MM12	10,2	16

Στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3.27 (βαθμοί τεστ και βαθμοί γραπτών προαγωγικών εξετάσεων), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης Spearman και Pearson:

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,46655.

$r_s = 0,46655$, p (2-tailed) = 0,12627.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών δεν μπορεί να θεωρείται στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,4646.

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,2159.

Η P-Τιμή είναι 0,128079. Το αποτέλεσμα δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ii) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 7

Στον Πίνακα 3.28 φαίνονται οι επιδόσεις των μαθητών στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 7.

Πίνακας 3.28: Οι επιδόσεις των μαθητών (στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις), των τμημάτων μεθοδολογίας, που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7.

Μαθητές Μεθοδολογίας (n = 20)	Συνολικός βαθμός τεστ	Βαθμός προαγωγικών εξετάσεων
MM1	25,4	20
MM2	20,2	19,6
MM3	16,8	14
MM4α	15,4	19,8
MM4β	15,4	12
MM6	13,6	13
MM7	12,7	10
MM8	11,7	19
MM9	11,3	12
MM10	11,2	19
MM11	10,4	10
MM12	10,2	16
MM13	9,5	14
MM14	8,5	09
MM15	8,4	10
MM16	7,8	14,4
MM17α	7,3	02
MM17β	7,3	05,6
MM19α	7	10,6
MM19β	7	16,4

Στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3.28 (βαθμοί τεστ και βαθμοί γραπτών προαγωγικών εξετάσεων), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης Spearman και Pearson:

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,51811.

$r_s = 0,51811$, p (2-tailed) = 0,01927.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών θα μπορούσε να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,5801.

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,3365.

Η P-Τιμή είναι 0,007334. Το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

4.2) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα ελέγχου (A_1 & A_3)

i) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 10

Στον Πίνακα 3.29 φαίνονται οι επιδόσεις των μαθητών στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων ελέγχου που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 10 (εδώ λάβαμε υπ' όψη και την επίδοση του ME12, με βαθμολογική επίδοση 9,9).

Πίνακας 3.29: Οι επιδόσεις των μαθητών (στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις), των τμημάτων ελέγχου, που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 10.

Μαθητές Ελέγχου (n = 12)	Συνολικός βαθμός τεστ	Βαθμός προαγωγικών εξετάσεων
ME1	21,3	20
ME2	20,2	19,8
ME3	17,7	14,6
ME4	15,5	19,2
ME5	13,5	15
ME6	12,6	19
ME7	12,5	18,4
ME8	12	12
ME9	11,8	16
ME10	11,1	07
ME11	11	17
ME12	9,9	12

Στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3.29 (βαθμοί τεστ και βαθμοί γραπτών προαγωγικών εξετάσεων), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης Spearman και Pearson:

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,54476.

$r_s = 0,54476$, p (2-tailed) = 0,00591.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών θα μπορούσε να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,5679.

Αυτή είναι μια μέτρια θετική συσχέτιση, που σημαίνει ότι υπάρχει μια τάση για υψηλές τιμές της μεταβλητής X , συνολικός βαθμός τεστ, να συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της μεταβλητής Y , βαθμός προαγωγικών εξετάσεων, (και αντίστροφα).

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,3225.

Η P -Τιμή είναι 0,054078. Το αποτέλεσμα δεν είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

Εδώ το συμπέρασμα είναι διαφορετικό σε σχέση με τον προηγούμενο συντελεστή συσχέτισης. Δε θα ληφθεί λοιπόν αυτός ο συντελεστής υπόψη γιατί, με βάση και αυτά που έχουμε ήδη αναφέρει, το μέγεθος δείγματος είναι 12, δηλαδή μικρότερο του 30.

ii) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 7

Στον Πίνακα 3.30 φαίνονται οι επιδόσεις των μαθητών στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων ελέγχου που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο είτε ίσο του 7.

Πίνακας 3.30: Οι επιδόσεις των μαθητών (στο τεστ και στις προαγωγικές εξετάσεις), των τμημάτων ελέγχου, που στο τεστ έλαβαν συνολικό βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 7.

Μαθητές Ελέγχου (n = 15)	Συνολικός βαθμός τεστ	Βαθμός προαγωγικών εξετάσεων
ME1	21,3	20
ME2	20,2	19,8
ME3	17,7	14,6
ME4	15,5	19,2
ME5	13,5	15
ME6	12,6	19
ME7	12,5	18,4
ME8	12	12
ME9	11,8	16
ME10	11,1	07
ME11	11	17
ME12	9,9	12
ME13	8	04
ME14	7,7	13
ME15	7,5	05,6

Στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3.30 (βαθμοί τεστ και βαθμοί γραπτών προαγωγικών εξετάσεων), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης Spearman και Pearson:

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,77569.

$r_s = 0,77569$, p (2-tailed) = 0,00068.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,7033.

Αυτή είναι μια μέτρια θετική συσχέτιση, που σημαίνει ότι υπάρχει μια τάση για υψηλές τιμές της μεταβλητής X, συνολικός βαθμός τεστ, να συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της μεταβλητής Y, βαθμός προαγωγικών εξετάσεων, (και αντίστροφα).

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,4946.

Η P-Τιμή είναι 0,003442. Το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

Δ.3) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης Spearman και Pearson για τα τμήματα μεθοδολογίας και ελέγχου (A_1 , A_2 , A_3 και A_4)

i) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 10

Με βάση τα δεδομένα των Πινάκων 3.27 και 3.29 (μαθητές που έλαβαν συνολικό βαθμό τεστ μεγαλύτερο είτε ίσο του 10), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης Spearman και Pearson, αθροιστικά για τα τμήματα μεθοδολογίας και ελέγχου ($n_{\text{ολ}} = 24$):

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,77569.

$r_s = 0,77569$, p (2-tailed) = 0,00068.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών θα μπορούσε να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,504.

Αυτή είναι μια μέτρια θετική συσχέτιση, που σημαίνει ότι υπάρχει μια τάση για υψηλές τιμές της μεταβλητής X, συνολικός βαθμός τεστ, να συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της μεταβλητής Y, βαθμός προαγωγικών εξετάσεων (και αντίστροφα).

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,254.

Η P-Τιμή είναι 0,012034. Το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

ii) Συνολικός βαθμός τεστ μεγαλύτερος είτε ίσο του 7

Με βάση τα δεδομένα των Πινάκων 3.28 και 3.30 (μαθητές που έλαβαν συνολικό βαθμό τεστ μεγαλύτερο είτε ίσο του 7), θα υπολογίσουμε τους συντελεστές συσχέτισης

Spearman και Pearson, αθροιστικά για τα τμήματα μεθοδολογίας και ελέγχου ($n_{ολ} = 35$):

α) Συντελεστής συσχέτισης Spearman:

Η τιμή του r_s είναι: 0,6451.

$r_s = 0,6451$, p (2-tailed) = 0,00003.

Σύμφωνα με τα συνήθη πρότυπα, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντική.

β) Συντελεστής συσχέτισης Pearson:

Η τιμή του R είναι 0,6307.

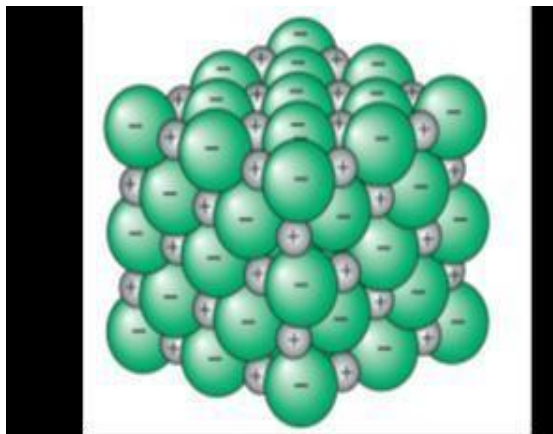
Αυτή είναι μια μέτρια θετική συσχέτιση, που σημαίνει ότι υπάρχει μια τάση για υψηλές τιμές της μεταβλητής X , συνολικός βαθμός τεστ, να συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της μεταβλητής Y , βαθμός προαγωγικών εξετάσεων, (και αντίστροφα).

Η τιμή του R^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, είναι 0,3978.

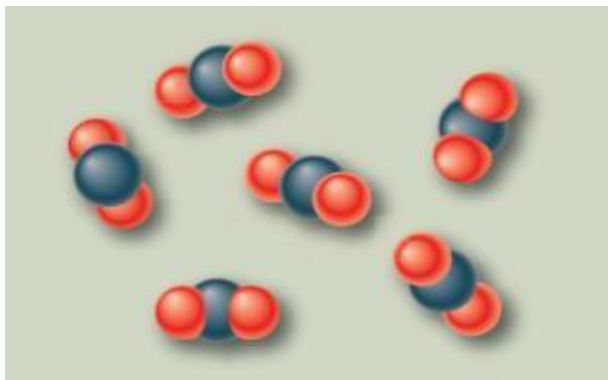
Η P -Τιμή είναι 0,000049. Το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό για $p < 0,05$.

Παράρτημα 3.1: Δίφυλλο με έγχρωμα σχήματα και εικόνες που μοιράστηκε στους μαθητές των τμημάτων «μεθοδολογίας» κατά τη διάρκεια των μαθημάτων.

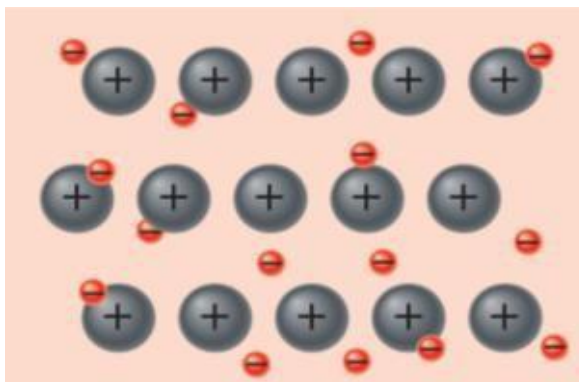
Σχήμα 4. Τρισδιάστατη απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl

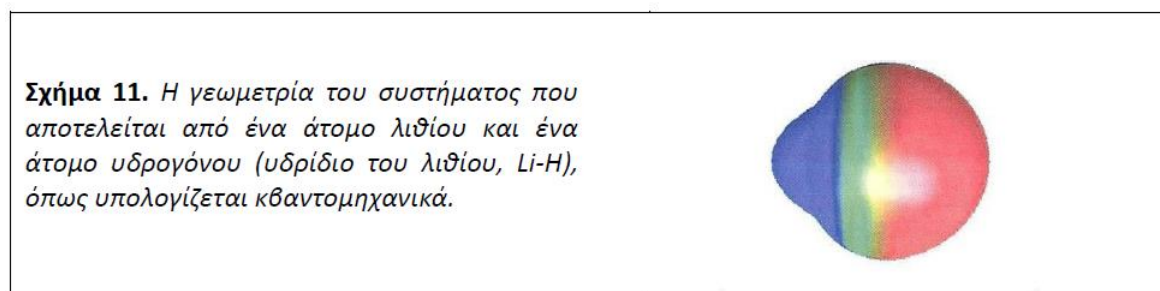
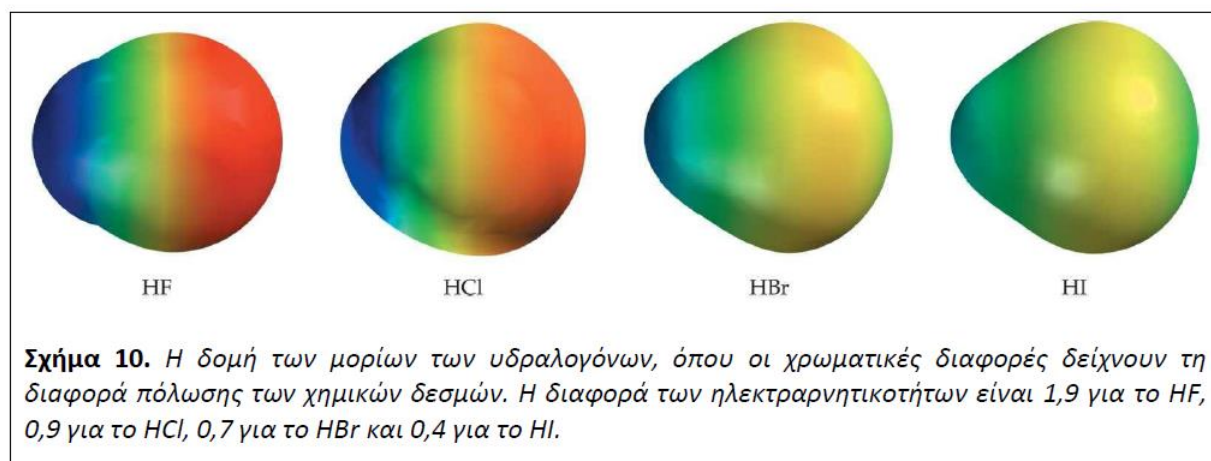
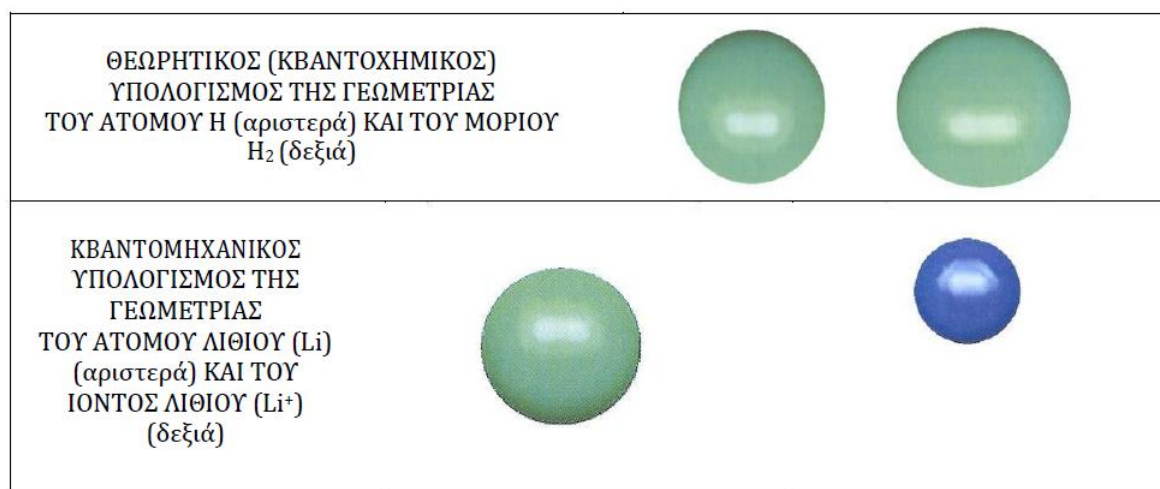


Σχήμα 5. Διακεκριμένα μόρια νερού (περίπτωση ομοιοπολικού δεσμού)



Σχήμα 6. Απεικόνιση του χημικού δεσμού στα μέταλλα (μεταλλικός δεσμός).





ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1: Λόγω του ότι οι μαθητές δεν διδάσκονται την κβαντομηχανική προσέγγιση της χημικής δομής ατόμων και μορίων (εκτός από μια γενική αναφορά στην έννοια του ηλεκτρονιακού νέφους), οι περιγραφές που συνόδευαν τις παραπάνω έγχρωμες εικόνες είχαν μια ποικιλία που ίσως δεν έπρεπε να υπάρχει. Έτσι στην 1^η και στην 2^η εικόνα γίνεται αναφορά σε «θεωρητικό (κβαντομηχανικό) υπολογισμό της γεωμετρίας του ατόμου H και του μορίου H₂, καθώς και στον κβαντομηχανικό υπολογισμό της γεωμετρίας του ατόμου Li και του ιόντος Li⁺». Στην 3^η εικόνα αναφέρεται «η δομή του μορίου του υδρογόνου (H₂) και του μορίου του νερού (H₂O) όπως αυτές υπολογίζονται κβαντομηχανικά» και όμοια στην 4^η εικόνα αναφέρεται ξανά «η δομή των μορίων των υδραλογόνων». Στην 5^η εικόνα επανερχόμαστε στη «γεωμετρία του συστήματος που αποτελείται από ένα άτομο λιθίου και ένα άτομο υδρογόνου (υδρίδιο του λιθίου Li-H) όπως υπολογίζεται κβαντομηχανικά. Οι οπτικές αυτές αναπαραστάσεις προέκυψαν από ένα βιβλίο του Jensen (2010). (Οι υπογραμμίσεις και τα πλάγια στοιχεία χρησιμοποιούνται εδώ για έμφαση, ενώ δεν υπάρχουν στο φύλλο που μοιράστηκε.) Πάντως κοινός παρονομαστής είναι ο κβαντομηχανικός υπολογισμός αυτών των οπτικών αναπαραστάσεων, ενώ ήταν ατυχής η χρήση αλλού του όρου «γεωμετρία» και αλλού «δομή».

Μέθοδος κατασκευής επιφανειών ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας και χαρτών ηλεκτροστατικού δυναμικού για χημικές δομές που προκύπτουν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς

Για την κατασκευή ενός χάρτη ηλεκτροστατικού δυναμικού ακολουθείται μια διαδικασία τριών σταδίων. Αυτό περιγράφεται παρακάτω για την περίπτωση του μορίου του νερού (βλ. Σχήμα 3.1.1).

Βήμα 1: Ένα μοντέλο "μπάλας και ραβδιού" (ball-and-stck) ή "σωλήνα" (tube) χρησιμοποιείται για το μόριο, για να δείξει τους πυρήνες και τη διάταξή τους. Στη συνέχεια ορίζουμε ένα σύνολο σημείων [$r_i \equiv (x_i, y_i, z_i)$] όπου θα υπολογιστεί το ηλεκτροστατικό δυναμικό. Μια κοινή προσέγγιση είναι να βρούμε σημεία στα οποία η πυκνότητα ηλεκτρονίων ισούται με 0,002 au. Αυτό είναι ένα πολύ χαμηλό επίπεδο πυκνότητας ηλεκτρονίων και τέτοια σημεία βρίσκονται συνήθως κοντά στο εξώτατο όριο του μοριακού νέφους ηλεκτρονίων. Επομένως, αυτά τα σημεία ορίζουν κατά προσέγγιση το μέγεθος και το σχήμα του μορίου, το οποίο αντιστοιχεί κατά προσέγγιση

στους μοριακούς όγκους που μετρούνται για μικρά μόρια αέριας φάσης. Όλα τα σημεία όπου πυκνότητα ηλεκτρονίων = 0,002 au σχηματίζουν μια τρισδιάστατη επιφάνεια γύρω από το μόριο, η οποία ονομάζεται επιφάνεια ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας 0,002.

Βήμα 2. Σε αυτή την επιφάνεια ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας, υπερθέτουμε το ηλεκτροστατικό δυναμικό, δηλαδή υπολογίζουμε το ηλεκτροστατικό δυναμικό σε όλα τα επιλεγμένα σημεία r_i . Το ηλεκτροστατικό δυναμικό (EP) στο σημείο r_i δίνεται από την ηλεκτροστατική δυναμική ενέργεια μεταξύ ενός φανταστικού θετικά φορτισμένου (+1) ιόν που βρίσκεται στο r_i και το μόριο. Εάν το ιόν έλκεται από το μόριο τότε το δυναμικό λαμβάνεται ως αρνητικό. Εάν το ιόν απωθείται από το μόριο τότε το δυναμικό λαμβάνεται ως θετικό. Δεδομένου ότι το ιόν έχει φορτίο +1, θα έλκεται από περιοχές του μορίου πλούσιες σε ηλεκτρόνια και θα απωθείται από τις φτωχές σε ηλεκτρόνια περιοχές. Έτσι, οι πλούσιες σε ηλεκτρόνια περιοχές έχουν συνήθως αρνητικά δυναμικά και οι φτωχές σε ηλεκτρόνια περιοχές έχουν συνήθως θετικά δυναμικά. Το ηλεκτροστατικό δυναμικό εκφράζεται συνήθως σε μονάδες kcal/mol.

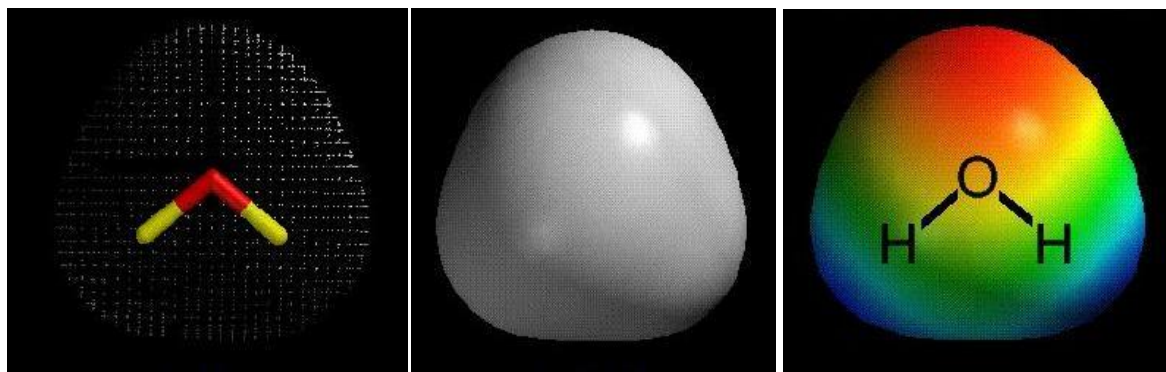
Βήμα 3. Τέλος, η επιφάνεια χαρτογραφείται με χρώμα, όπου χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα για τον χαρακτηρισμό διαφορετικών δυναμικών. Το πιο θετικό δυναμικό έχει μπλε χρώμα, ενώ το πιο αρνητικό δυναμικό είναι κόκκινο. Για τα ενδιάμεσα δυναμικά χρησιμοποιούνται χρώματα σύμφωνα με το τυπικό φάσμα χρωμάτων:

κόκκινο (πιο αρνητικό) < κίτρινο < πράσινο < γαλάζιο < σκούρο μπλε (πιο θετικό)



Οι κόκκινες περιοχές ενός χάρτη είναι οι πιο πλούσιες σε ηλεκτρόνια περιοχές ενός μορίου (περιοχές αρνητικού φορτίου) και οι μπλε περιοχές ενός χάρτη είναι οι πιο φτωχές σε ηλεκτρόνια περιοχές ενός μορίου (περιοχές θετικού φορτίου). Τα ενδιάμεσα χρώματα (κίτρινο αλλά κυρίως πράσινο) δείχνουν περιοχές με ομοιόμορφη κατανομή φορτίου ηλεκτρονίων, οι οποίες ονομάζονται περιοχές ουδέτερου φορτίου.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2: Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η παραπάνω διαδικασία τριών σταδίων δεν διδάχθηκε στους μαθητές.



Σχήμα 3.1.1: Η διαδικασία τριών βημάτων για την κατασκευή ενός χάρτη ηλεκτροστατικού δυναμικού για το μόριο του νερού.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

Anslyn, E. V.; Dougherty, D. A. (2006). *Modern physical organic chemistry*. University Science Books: Sausalito, California.

Reed College: Organic Chemistry (ROCO) Online, Chapter 4 – Electrostatic Potentials:
http://www.reed.edu/chemistry/ROCO/Potential/electrostatic_maps.html (πρόσβαση στις 07-Ιουλίου-2022).

Η παραπάνω περιγραφή βασίστηκε, εκτός από τις ως άνω πηγές και στη «Συμπληρωματική Πληροφόρηση S1 και S2» στην εργασία:

Tsaparlis, G., Pantazi, G., Pappa E. T., and Byers B. (2021). Using electrostatic potential maps as visual representations to promote better understanding of chemical bonding, *Chemistry Teacher International*, 3(4), 391-411 (plus Supplementary Information). <https://doi.org/10.1515/cti-2021-0012>

Παράρτημα 3.2: Τα τεστ που μοιράστηκαν στους μαθητές και των τεσσάρων τμημάτων προκειμένου να αξιολογηθούν μετά την ολοκλήρωση των μαθημάτων στο χημικό δεσμό.

A

Ερωτηματολόγιο για τον Χημικό Δεσμό

Όνοματεπώνυμο.....

Τμήμα.....

Ημερομηνία.....

9 Λεπτά 1) Τι είδους δεσμός αναπτύσσεται μεταξύ ${}^3\text{Li}$ και του χλωρίου ${}^{17}\text{Cl}$, ιοντικός ή ομοιοπολικός; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας περιγράφοντας τον τρόπο σχηματισμού του δεσμού. (4 μονάδες)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10 Λεπτά 2) Δίνονται τα στοιχεία: αργίλιο ${}^{13}\text{Al}$ και χλώριο ${}^{17}\text{Cl}$. Για το καθένα από τα δύο αυτά στοιχεία να γράψετε την κατανομή των ηλεκτρονίων του ατόμου του σε στιβάδες και στη συνέχεια, υποθέτοντας ότι η χημική ένωση αργιλίου και χλωρίου είναι ομοιοπολική, να αναφέρετε πόσοι ομοιοπολικοί δεσμοί αναμένετε να σχηματιστούν ανάμεσα στο άτομο του αργιλίου και στο άτομο του χλωρίου. Τέλος, να σχολιάσετε το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας στον σχολιασμό σας τον κανόνα του οκτώ. (4 μονάδες)

.....

.....

.....

.....

.....

4 Λεπτά 3) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Στον ιοντικό δεσμό έχουμε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ενώ τέτοιες αλληλεπιδράσεις δεν έχουμε στον ομοιοπολικό δεσμό. (4 μονάδες, οι 2 bonus)

.....

.....

.....

.....

.....

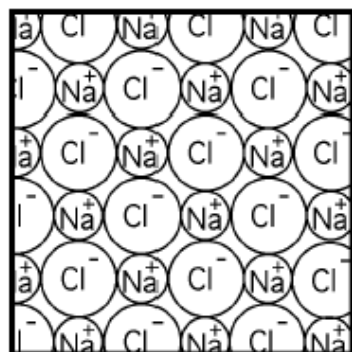
Α

4 Λεπτά 4) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν και οι ομοιοπολικοί δεσμοί και οι ιοντικοί δεσμοί (4 μονάδες, οι 2 bonus)

9 Λεπτά 5) Δίνονται τα στοιχεία: άζωτο ${}^7\text{N}$ και υδρογόνο ${}^1\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο άζωτο και το υδρογόνο και β) γιατί δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης αμμωνία NH_3 σε συνήθεις θερμοκρασίες.

(7 μονάδες, οι 3 bonus)

9 Λεπτά 6) Παρακάτω δίνεται μια δισδιάστατη απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl . Να απαντήσεις αν οι παρακάτω ερωτήσεις είναι σωστές ή λάθος σημειώνοντας Σ ή Λ **μπροστά από καθένα.**



- Ένα κατιόν είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό με οποιοδήποτε γειτονικό του ανιόν.
- Στο διάγραμμα δεν δείχνονται μόρια.
- Ένα κατιόν νατρίου είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό μόνο με το ανιόν χλωρίου στο οποίο έδωσε το ηλεκτρόνιο του.
- Δεν είναι δυνατό να δείξουμε στο διάγραμμα πού είναι οι ιοντικοί δεσμοί, εκτός αν γνωρίζουμε ποιο άτομο χλωρίου δέχθηκε ηλεκτρόνιο από ποιο άτομο νατρίου.
- Ένα άτομο νατρίου μπορεί να σχηματίσει μόνο έναν ιοντικό δεσμό γιατί έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο σθένους για να δώσει.
- Ένα αρνητικό ιόν μπορεί να έλκεται μόνο από ένα θετικό ιόν.
- Στο διάγραμμα, ένα ιόν νατρίου έλκεται μόνο από ένα ιόν χλωρίου με ιοντικό δεσμό και έλκεται από τα άλλα ιόντα χλωρίου απλώς με δυνάμεις.

(7 μονάδες, οι 3 bonus)

B

Ερωτηματολόγιο για τον Χημικό Δεσμό

Ονοματεπώνυμο.....

Τμήμα.....

Ημερομηνία.....

9 Λεπτά 1) Να χαρακτηρίσετε τις επόμενες προτάσεις ως σωστές (Σ) ή λανθασμένες (Λ):

α) Το φθόριο (${}^9\text{F}$), μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικούς και ιοντικούς δεσμούς.β) Το ${}^9\text{F}$ προσλαμβάνει ηλεκτρόνια ευκολότερα από το ${}^{17}\text{Cl}$.

Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας σε όλες τις περιπτώσεις

(4 μονάδες)

10 Λεπτά 2) Δίνονται τα σημεία τήξεως των παρακάτω ιοντικών ενώσεων (αλάτων), όπου κρατάμε σταθερό το ανιόν (Cl^-) και μεταβάλλουμε το κατιόν κατά μήκος της 1ης ομάδας των αλκαλίων του Π.Π.

	NaCl(s)	KCl(s)	RbCl(s)	CsCl(s)
σ.τ. °C	+801	+770	+718	+645

Να δικαιολογήσετε τη μεταβολή αυτή χρησιμοποιώντας τις γνώσεις σας για τους χημικούς δεσμούς

(4 μονάδες)

4 Λεπτά 3) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Η ηλεκτραρνητικότητα παίζει ρόλο και στο σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού και στο σχηματισμό του ιοντικού δεσμού.

(4 μονάδες, οι 2 bonus)

4 Λεπτά 4) ΣΩΣΤΟ ή ΛΑΘΟΣ (Να εξηγήσετε την απάντησή σας): Πολικότητα εμφανίζουν μόνο οι ομοιοπολικοί δεσμοί και όχι και οι ιοντικοί δεσμοί

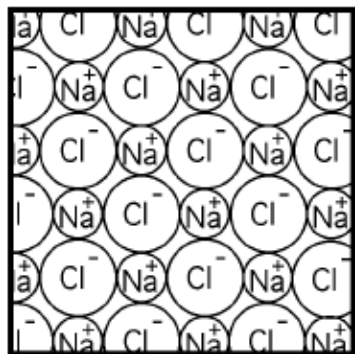
(4 μονάδες, οι 2 bonus)

B

9 Λεπτά 5) Δίνονται τα στοιχεία: θείο $_{16}\text{S}$ και υδρογόνο $_{1}\text{H}$. Να εξηγήσετε (α) το είδος του δεσμού (ιοντικού ή ομοιοπολικού) ανάμεσα στο θείο και το υδρογόνο και β) γιατί δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η έννοια του κρυστάλλου στην περίπτωση της ένωσης υδρόθειο H_2S σε συνήθεις θερμοκρασίες.

(7 μονάδες, οι 3 bonus)

9 Λεπτά 6) Παρακάτω δείχνεται μια διδιάστατη απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl . Να απαντήσεις αν οι παρακάτω ερωτήσεις είναι σωστές ή λάθος σημειώνοντας Σ ή Λ μπροστά από καθεμιά.



- Στο διάγραμμα μπορούμε να δείξουμε πού είναι οι ιοντικοί δεσμοί, αν γνωρίζουμε ποιο άτομο νατρίου δέχθηκε ηλεκτρόνιο από ποιο άτομο χλωρίου.
- Ένα θετικό ιόν μπορεί να έλκεται μόνο από ένα αρνητικό ιόν.
- Στο διάγραμμα, ένα ιόν χλωρίου έλκεται μόνο από ένα ιόν νατρίου με ιοντικό δεσμό και έλκεται από τα άλλα ιόντα νατρίου απλώς με δυνάμεις.
- Ένα άτομο χλωρίου μπορεί να σχηματίσει μόνο έναν ιοντικό δεσμό γιατί μπορεί να δεχθεί ένα μόνο επιπλέον ηλεκτρόνιο στη στιβάδα σθένους του.
- Ένα ανιόν χλωρίου είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό μόνο με το κατιόν νατρίου στο οποίο έδωσε το ηλεκτρόνιό του.
- Ένα ανιόν είναι συνδεδεμένο με ιοντικό δεσμό με οποιοδήποτε γειτονικό του κατιόν.
- Στο διάγραμμα δείχνονται μόρια. (7 μονάδες, οι 3 bonus)

Παράρτημα 3.3: Τα θέματα των γραπτών προαγωγικών εξετάσεων στα οποία εξετάστηκαν οι μαθητές της Α' Λυκείου.

.... ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ
ΓΡΑΠΤΕΣ ΠΡΟΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΜΑΪΟΥ – ΙΟΥΝΙΟΥ
ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΑΞΗ Α **04-06-2015**

Θέμα 1°

Να επιλέξετε τη **σωστή** απάντηση:

1. Τα στοιχεία που ανήκουν στην ίδια περίοδο του περιοδικού πίνακα έχουν:
α) παρόμοιες χημικές ιδιότητες,
β) ίδιο μαζικό αριθμό,
γ) ίδιο αριθμό ηλεκτρονιακών στοιβάδων,
δ) ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων στην εξωτερική τους στοιβάδα.
 2. Το ιόν ${}_{30}^{65}\text{Zn}^{2+}$ περιέχει:
α) 65 πρωτόνια και 30 νετρόνια
β) 28 ηλεκτρόνια και 35 νετρόνια
γ) 30 πρωτόνια και 32 ηλεκτρόνια
δ) 35 πρωτόνια και 30 νετρόνια
 3. Ο αριθμός οξείδωσης του N στο KNO_3 είναι:
α) 6
β) 5
γ) 4
δ) -3
 4. Στο μόριο του όζοντος (O_3) ο αριθμός 3 που αναγράφεται κάτω δεξιά εκφράζει:
α) ατομικό αριθμό
β) αριθμό οξείδωσης
γ) ατομικότητα
δ) μαζικό αριθμό
 5. Ένα άτομο μετατρέπεται σε μονοατομικό ιόν που έχει φορτίο -2 όταν:
α) αποβάλει δύο ηλεκτρόνια,
β) αποβάλει δύο νετρόνια,
γ) προσλάβει δύο ηλεκτρόνια,
δ) προσλάβει δύο πρωτόνια
- (5x5 = 25 Μονάδες)**

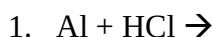
Θέμα 2°

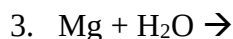
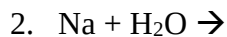
1. Να αναφέρετε 3 χαρακτηριστικά των ιοντικών ή ετεροπολικών ενώσεων.
(9 Μονάδες)
2. Τι ονομάζουμε άτομο και τι ιόν;
(8 Μονάδες)
3. Τι ονομάζουμε ταχύτητα μιας αντίδρασης; Ποια χημική αντίδραση ονομάζουμε εξώθερμη και ποια ενδόθερμη;
(8 Μονάδες)

Θέμα 3°

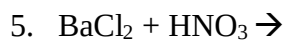
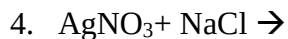
Δίνονται οι παρακάτω αντιδράσεις (οι οποίες πραγματοποιούνται όλες):

❖ *Απλής αντικατάστασης:*

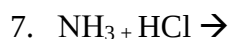
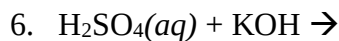




❖ Διπλής αντικατάστασης:



❖ Εξουδετέρωσης:



α) Να ονομάσετε τις χημικές ενώσεις που εμφανίζονται στο πρώτο μέλος των παραπάνω χημικών αντιδράσεων.

(9 Μονάδες)

β) Να συμπληρώσετε τις παραπάνω χημικές αντιδράσεις με τα προϊόντα που σχηματίζονται και τους κατάλληλους συντελεστές.

(16 Μονάδες)

Θέμα 4°

Δίνονται: νάτριο, $_{11}\text{Na}$, χλώριο, $_{17}\text{Cl}$.

α) Να γράψετε την κατανομή των ηλεκτρονίων σε στιβάδες για το άτομο του νατρίου και του χλωρίου.

(4 Μονάδες)

β) Να αναφέρετε το είδος του δεσμού (ιοντικός ή ομοιοπολικός) μεταξύ του νατρίου και του χλωρίου.

(2 Μονάδες)

γ) Να περιγράψετε τον τρόπο σχηματισμού του δεσμού και να γράψετε τον ηλεκτρονιακό τύπο αυτής της χημικής ένωσης (να αναφέρετε και τον κανόνα των οκτώ).

(9 Μονάδες)

δ) Αναμειγνύουμε NaCl και νερό οπότε δημιουργούμε 500 mL διαλύματος NaCl 20% w/w και πυκνότητας 1,2 g /mL. Να υπολογιστεί η μάζα της διαλυμένης ουσίας (NaCl) που περιέχεται σε αυτό το υδατικό διάλυμα.

(10 Μονάδες)

04 / 06 / 2015

Ο
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ

Ο
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

Ε. ΠΥΡΓΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥ ΧΗΜΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ

4.1. Τι είναι η Διδακτική Μεταφορά / Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου;

Η διαδικασία της διδακτικής μεταφοράς αναφέρεται στους μετασχηματισμούς που υφίσταται ένα γνωστικό αντικείμενο ή ένα σύνολο γνώσεων από τη στιγμή που παράγεται, τίθεται σε χρήση, επιλέγεται και σχεδιάζεται για να διδαχθεί, μέχρι να διδαχθεί πραγματικά σε ένα συγκεκριμένο εκπαιδευτικό ίδρυμα. Υπογραμμίζει το γεγονός ότι τα μαθήματα που διδάσκονται στο σχολείο προέρχονται από άλλους θεσμούς, κατασκευάζονται με συγκεκριμένες πρακτικές και οργανώνονται σε συγκεκριμένα σύνολα αντικειμένων. Η διδακτική γνώση, οι συγκεκριμένες πρακτικές και τα όργανα της γνώσης που προτείνονται να μάθουν οι μαθητές στο σχολείο προέρχονται από την αποκαλούμενη επιστημονική γνώση, που παράγεται γενικά σε πανεπιστήμια και άλλα επιστημονικά ιδρύματα, ενσωματώνοντας επίσης στοιχεία που λαμβάνονται από μια ποικιλία σχετικών κοινωνικών πρακτικών (Chevallard & Bosch, 2014). Πάνω απ' όλα, η διδακτική μεταφορά διατυπώνει την ανάγκη να θεωρηθεί ότι αυτό που διδάσκεται στο σχολείο («περιεχόμενο» ή «γνώση») είναι, κατά κάποιον τρόπο, μια εξωγενής παραγωγή, κάτι που παράγεται εκτός σχολείου και μεταφέρεται στο σχολείο από μια κοινωνική ανάγκη της εκπαίδευσης. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να περάσει από μια σειρά μεταρρυθμίσεων προσαρμογής για να μπορέσει να «επιβιώσει» στο νέο περιβάλλον που προσφέρει το σχολείο (Bosch & Gascón, 2006).

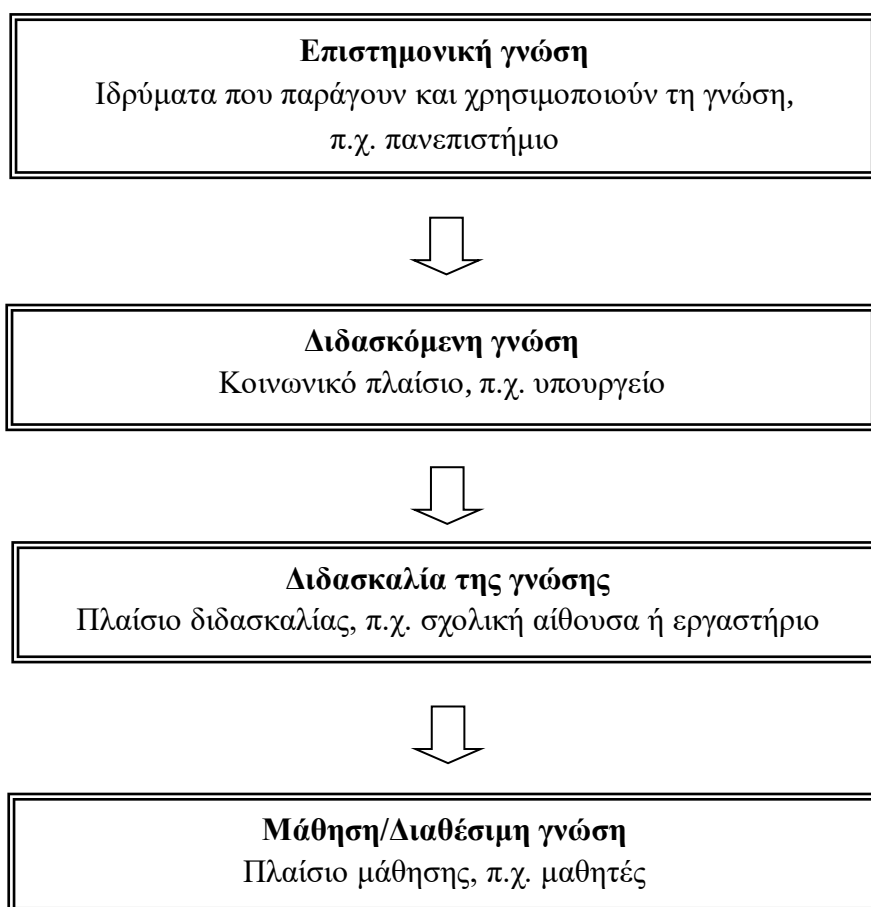
Με τον όρο Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου (ΔΜΠ) εννοούμε κάθε αλλαγή που γίνεται στο περιεχόμενο (έννοιες, φαινόμενα, νόμοι, διαδικασίες, κ.ά.) των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) για να γίνει κατανοητό από τον στοχευόμενο πληθυσμό. Αν και χρησιμοποιείται ρητά ή υπονοείται από τους εκπαιδευτικούς από συστάσεως θεσμοθετημένης/τυπικής εκπαίδευσης, εισήχθη επίσημα στη Διδακτική των Μαθηματικών, από τον Chevallard (1985), ως *transposition didactique*. Παρότι αναγνωρίζεται η σημασία του για την κατανόηση των ΦΕ, αλλά και για να διατηρήσει

ή/και ενισχύσει το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών για τις ΦΕ, δεν έχει μελετηθεί συστηματικά (Καριώτογλου, 2021).

Αυτή η μεταφορά γνώσης μεταξύ των ιδρυμάτων και η επακόλουθη και αναγκαία προσαρμογή αυτής της γνώσης στις νέες συνθήκες κάθε θεσμικού οργάνου είναι ακριβώς αυτό που εννοείται με τον όρο «διδακτική μεταφορά/διδακτικός μετασχηματισμός περιεχομένου» (βλ. Σχήμα 4.1) (Achiam, 2014).

4.2. Η διαδικασία της διδακτικής μεταφοράς

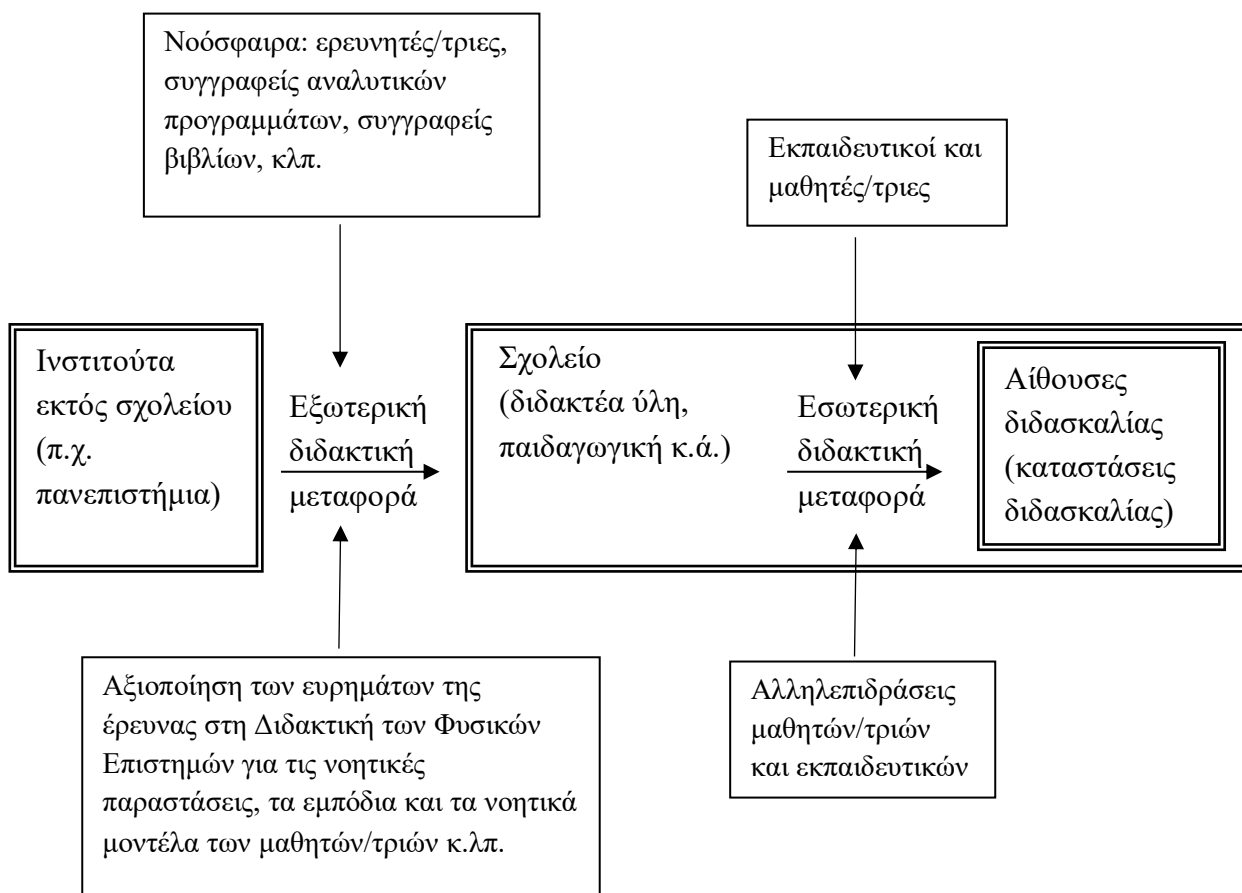
Ένα αντικείμενο επιστημονικής γνώσης παράγεται συνήθως σε ένα ερευνητικό πλαίσιο. Στη συνέχεια επιλέγεται και αναδιαρθρώνεται σε ένα κοινωνικό πλαίσιο για να γίνει μέρος της γνώσης που θα διδαχθεί, για παράδειγμα, ως μέρος ενός επίσημου προγράμματος σπουδών σε δεδομένη βαθμίδα εκπαίδευσης. Στη συνέχεια μεταφέρεται ξανά και μετασχηματίζεται στις γνώσεις που πραγματικά διδάσκονται σε ένα πλαίσιο διδασκαλίας, π.χ. μία σχολική τάξη. Τέλος, αποκτάται από τους μαθητευόμενους και γίνεται γνώση (Achiam M., 2014).



Σχήμα 4.1: Η διαδικασία της διδακτικής μεταφοράς (Bosch & Gascón, 2006; Achiam, 2014).

4.3. Εξωτερική και εσωτερική διδακτική μεταφορά / διδακτικός μετασχηματισμός

Ο Chevallard παρουσιάζει τα δύο βασικά βήματα της διδακτικής μεταφοράς, τα οποία έχουν γίνει γνωστά ως εξωτερική και εσωτερική διδακτική μεταφορά (βλ. Σχήμα 4.2).

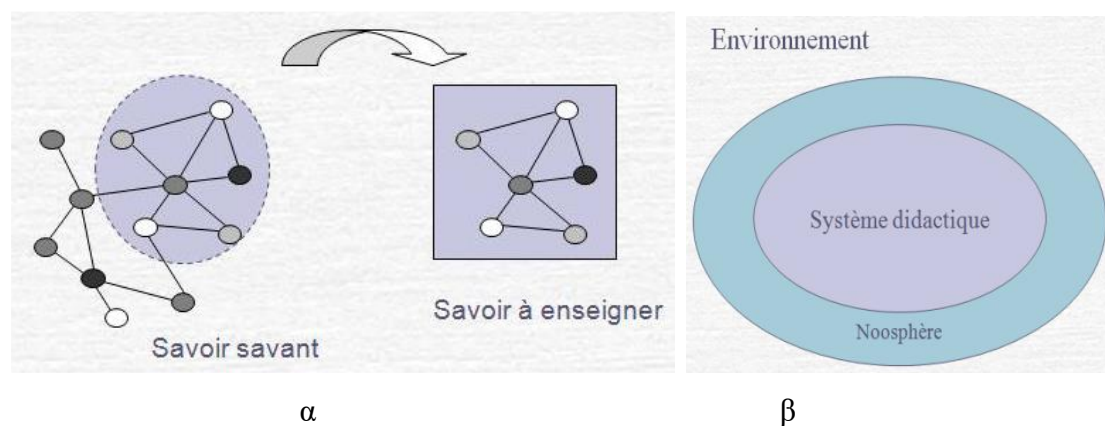


Σχήμα 4.2: Η εξωτερική και η εσωτερική διδακτική μεταφορά (Ραβάνης, 2015; Chevallard, 2014)

Η εξωτερική διδακτική μεταφορά μετασχηματίζει τις επιστημονικές γνώσεις και πρακτικές στα σχολικά προγράμματα, στο αντίστοιχο τυπικό πρόγραμμα σπουδών. Η εσωτερική διδακτική μεταφορά, από τη διδασκαλία της γνώσης στην έμπρακτη γνώση, επιτυγχάνεται στο σχολείο και εκτελείται διδακτικά από κάθε δάσκαλο στην τάξη. Η εσωτερική διδακτική μεταφορά συνίσταται στη μετατροπή των προγραμμάτων σπουδών σε προγράμματα μαθήματος που αντιστοιχούν σε πραγματικό πρόγραμμα σπουδών. Είναι η πτυχή του αναλυτικού προγράμματος που καλύπτει όλες τις γνώσεις,

τις δεξιότητες, τις συμπεριφορές που ενημερώνονται αποτελεσματικά στη διδασκαλία από τους παράγοντες που συμμετέχουν στη διαδικασία (δάσκαλους και μαθητές).

Αυτά τα δύο είναι ξεχωριστά επειδή λειτουργούν, αντίστοιχα, έξω από το σχολείο (σε αυτό που ο Chevallard εκφράζει ειρωνικά τη νοόσφαιρα, τον «σκεπτόμενο κύκλο» γύρω από το σχολείο (βλ. Σχήμα 4.3β) και μέσα σε αυτό (π.χ. ένα νέο πρόγραμμα σπουδών στην πραγματική διδασκαλία) (Tiberiu, 2015).



Σχήμα 4.3: Διδακτική μεταφορά: α) Σύγκριση δομής της ακαδημαϊκής γνώσης και δομής της διδαχθείσας γνώσης, β) Νοόσφαιρα

4.4. Προτεινόμενες παιδαγωγικές για χημικούς δεσμούς

Η διαχείριση του προγράμματος σπουδών και η οικοδόμηση της σχολικής γνώσης είναι ένα βασικό και σύνθετο ζήτημα στην εκπαίδευση. Για να επηρεάσουμε αυτή την κατασκευή, πρέπει, καταρχήν, να ξεκινήσουμε με το σύνολο της επιστημονικής γνώσης και να καταλήξουμε σε όλες τις γνώσεις που επιθυμούμε να αποκτήσουν οι μαθητές. Για να φτάσουμε σε ένα αντικείμενο διδασκαλίας κατάλληλο για έναν μαθητικό πληθυσμό-στόχο, η επιστημονική γνώση πρέπει να υποστεί πολλούς μετασχηματισμούς. Η όλη η διαδικασία έχει χαρακτηριστεί από τους Γάλλους ως «transposition didactique» (διδακτική μεταφορά), πιο συγκεκριμένα, «transposition didactique externe» (εξωτερική διδακτική μεταφορά) (Paun, 2006). Επιπλέον, ένας περαιτέρω μετασχηματισμός, μια «εσωτερική διδακτική μεταφορά», στη διαδικασία διδασκαλίας και μάθησης είναι απαραίτητος για να υλοποιηθεί η μεταφορά, δηλαδή η διδακτική μεθοδολογία και οι διάφορες μορφές που παίρνει το πρόγραμμα σπουδών (ιδανικό, επίσημο, αντιληπτό, λειτουργικό, βιωματικό και επιτευχθέν πρόγραμμα

σπουδών – Goodland, 1979; Van den Akker, 1998). Όλες αυτές οι μεταμορφώσεις υλοποιούνται τόσο με βάση τη λογική της συνέχειας όσο και αυτήν των επιστημολογικών διαλειμμάτων (Paun, 2006).

Για να εξετάσουμε το «σύνολο της επιστημονικής γνώσης» που είναι σχετικό με το θέμα των χημικών δεσμών, πιστεύουμε ότι είναι σκόπιμο να συμβουλευθούμε μια αυθεντία στη φυσικοχημεία, τον καθηγητή Peter Atkins. Στο βιβλιαράκι του "Physical Chemistry, A Very Short Introduction" (Atkins, 2014) και κοιτώντας το πρώτο κεφάλαιο «Matter from the inside» («Η ύλη εκ των έδων»), ο Peter Atkins έχει περιγράψει τα βασικά ζητήματα που σχετίζονται με το θέμα χημικών δεσμών (σελ. 11-20) (βλ. Παράρτημα II). Μετά από μια στοιχειώδη θεώρηση του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού, ο Atkins στρέφεται στην κβαντομηχανική των δεσμών, με σύντομες περιγραφές των δύο κβαντομηχανικών θεωριών/μοντέλων σχηματισμού δεσμού, το μοντέλο δεσμού σθένους (valence-bond model) και το μοντέλο μοριακού τροχιακού (molecular orbital model) με προτίμηση στο τελευταίο μοντέλο, καθώς το μοντέλο δεσμού σθένους αντιμετωπίζει δυσκολίες.

Το να μετατρέψουμε αυτό το σώμα της επιστημονικής γνώσης σε ένα κατάλληλο σύνολο για διδασκαλία, για διάφορες ηλικίες και κατηγορίες μαθητών, συνιστά πραγματική πρόκληση. Ένα σχετικό, μείζον, αλλά συχνά παραβλεπόμενο πρόβλημα είναι ότι το παραδοσιακό πρόγραμμα σπουδών χημείας τονίζει την ανάγκη για ένα «στερεό θεμέλιο ... προτασιακής γνώσης... ως βάσης για πιο προχωρημένη μελέτη της χημείας», χωρίς να λαμβάνεται υπόψη «η πλειονότητα των μαθητών που δεν θα συνεχίσουν τις σπουδές τους στο αντικείμενο της χημείας» (Gilbert, 2006).

4.5. Θέματα σχετικά με την έρευνα στο χημικό δεσμό

Για τη συγκεκριμένη μελέτη, επιλέξαμε δύο συγγράμματα και παρουσιάζουμε μια λίστα θεμάτων που σχετίζονται με το χημικό δεσμό. Το ένα από τα δύο συγγράμματα είναι το βιβλίο του Peter Atkins που έχει ως τίτλο: «Φυσικοχημεία, μια επιγραμματική περιγραφή», εδώ αναλύουμε το 1^ο κεφάλαιο του βιβλίου αυτού (Η ύλη εκ των ένδον) (βλ. Παράρτημα II). Το άλλο είναι μια Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια τεσσάρων τόμων που έχει ως τίτλο “Chemistry: Foundations and Applications”. Από αυτή την εγκυκλοπαίδεια έγινε επιλογή των κεφαλαίων που σχετίζονται με το χημικό δεσμό.

4.5.1. Peter Atkins: Physical chemistry, a very short introduction. Oxford University Press, 2014.

Chapter 1: Matter from the inside

(Κεφ. 1: Η ύλη εκ των ένδον, Μετάφραση στα Ελληνικά: Γ. Τσαπαρλής και Ε. Πύργας)

4.5.1.1. Άτομα

1. Η εισαγωγή στα άτομα γίνεται με αναφορά στους αρχαίους Έλληνες, την πειραματική απόδειξη από τον John Dalton και στα τέλη του 20^{ου} αιώνα όπου μπορούσαμε να «δούμε» τα άτομα.
2. Γίνεται αναφορά στην ατομική δομή, τον ατομικό αριθμό και τα ισότοπα άτομα.

4.5.1.2. Ηλεκτρονιακή δομή ατόμων

3. Ηλεκτρική ουδετερότητα ατόμου. Αριθμός πρωτονίων πυρήνα ίσος με αριθμό ηλεκτρονίων.
4. Το «πλανητικό» μοντέλο του Bohr, αν και δημοφιλές, αναφέρεται ως λανθασμένο. Η κβαντομηχανική περιγραφή των ατόμων αναγνωρίζει ότι ένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να κινείται σε μια συγκεκριμένη τροχιά γύρω από τον πυρήνα.
5. Αναφέρεται η εξίσωση Schrödinger (χωρίς τη χρήση μαθηματικών τύπων), η οποία και επιλύεται για τον εντοπισμό του ηλεκτρονίου σε ένα άτομο υδρογόνου. Αντί των τροχιών, τα ηλεκτρόνια θα μπορούσαν να υιοθετήσουν μια ποικιλία κυματοειδών κατανομών γύρω από τον πυρήνα, ονομαζόμενες κυματοσυναρτήσεις. Κάθε κύμα αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή ενέργειας.

6. Αναφέρει ότι υιοθετούνται οι λύσεις Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου και κατόπιν αυτές προσαρμόζονται στα υπόλοιπα άτομα.
7. Αναφέρονται τα τροχιακά s, p, d, f καθώς και τα σχήματα αυτών, τα οποία απεικονίζονται (και περιγράφονται με λόγια), χρησιμοποιώντας την πυκνότητα ηλεκτρονιακού νέφους ως πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου. Επίσης γίνεται αναφορά και στον αριθμό τροχιακών από τα οποία αποτελείται μια υποστοιβάδα.
8. Αναφέρεται στη λανθασμένη εικόνα του ατόμου ως κενό διάστημα, το οποίο και είναι κατάλοιπο του μοντέλου του Bohr. Αντίθετα στο μοντέλο του Schrödinger, δεν υπάρχει καθόλου κενός χώρος, απλώς μια κυμαινόμενη πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
9. Γίνεται αναφορά στα διαφορετικά τροχιακά τύπου s: 1s, 2s, 3s, κ.ο.κ. τα οποία διαφέρουν τόσο σε ενέργεια όσο και σε μέγεθος.
10. Γίνεται μια απλή αναφορά ότι εκτός των τροχιακών s, p, d, f, θα μπορούσαμε να συνεχίσουμε και σε g, h, κ.τ.λ., τα οποία βέβαια δεν αναλύονται περαιτέρω.
11. Τοποθετεί τις υποστοιβάδες στα διάφορα ενεργειακά επίπεδα και αναφέρει ότι οι απόψεις μεταξύ των ηλεκτρονίων σε άτομα διαφορετικά του υδρογόνου επηρεάζουν τη διάταξη των υποστοιβάδων στα διάφορα ενεργειακά επίπεδα.
12. Διατυπώνεται η απαγορευτική αρχή του Pauli.
13. Εξηγείται η ηλεκτρονιακή κατανομή για τα πρώτα 11 στοιχεία του Π.Π. και κατόπιν συσχετίζεται η ηλεκτρονιακή δομή με την ομάδα (κατακόρυφη στήλη) του Π.Π. που ανήκει ένα στοιχείο.

4.5.1.3. Οι ιδιότητες των ατόμων

14. Δίνεται ο ορισμός της ατομικής ακτίνας (μέγεθος ατόμου) και εξηγείται το πώς αυτή μεταβάλλεται μέσα σε μια ομάδα και κατά μήκος μιας περιόδου.
15. Δίνεται ο ορισμός της ενέργειας ιοντισμού και εξηγείται πώς αυτή μεταβάλλεται μέσα σε μια ομάδα και κατά μήκος μιας περιόδου. Επίσης αυτή συσχετίζεται με τα μέταλλα και τα αμέταλλα.
16. Δίνεται ο ορισμός της ηλεκτρονιοσυγγένειας και εξηγείται πού συναντάμε τα στοιχεία με τις υψηλότερες τιμές.
17. Δίνεται ο ορισμός του ιόντος, αναφέρονται οι κατηγορίες ιόντων και πώς αυτά σχηματίζονται από ένα ουδέτερο άτομο. Επίσης συσχετίζει τη θέση ενός στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα με την ενέργεια ιοντισμού και την ηλεκτρονιοσυγγένεια και κατ' επέκταση με την αποβολή και την πρόσληψη ηλεκτρονίων.

4.5.1.4. Ο ιοντικός δεσμός

18. Δίνεται ένας ορισμός για τον χημικό δεσμό.
19. Αναφέρονται τρεις τύποι δεσμού, ο ιοντικός, ο ομοιοπολικός και ο μεταλλικός. Ο τελευταίος μελετάται σε ξεχωριστό κεφάλαιο. Πρώτα μελετάται ο ιοντικός δεσμός και κατόπιν ο ομοιοπολικός δεσμός.
20. Εξηγεί τι είναι η ιοντικά συνδεδεμένη ουσία. Ως υπόδειγμα περιγράφεται και αναπαρίσταται σχηματικά το κρυσταλλικό πλέγμα του NaCl.
21. Αναφέρει ως σημαντικό χαρακτηριστικό του ιοντικού δεσμού το ότι δεν υπάρχει διακριτός δεσμός ιόντος–ιόντος.
22. Η ισχύς και η ύπαρξη ενός ιοντικού δεσμού οφείλεται στο ότι τα ιόντα στον κρύσταλλο έχουν χαμηλότερη ενέργεια από τα μεμονωμένα άτομα νατρίου και χλωρίου. Από το σχηματισμό του κρυσταλλικού πλέγματος, το σύστημα οδηγείται σε χαμηλότερη ενέργεια, κάτι το οποίο ευνοεί το σχηματισμό του κρυσταλλικού NaCl.
23. Αναφέρεται (ως τρίτο χαρακτηριστικό) ότι ο ιοντικός δεσμός δημιουργείται μεταξύ ατόμων στα αριστερά του Π.Π. (χαμηλές ενέργειες ιοντισμού) με άτομα που βρίσκονται στα δεξιά του Π.Π. (αρκετά υψηλές ηλεκτρονιοσυγγένειες).

4.5.1.5. Ο ομοιοπολικός δεσμός

24. Στον ομοιοπολικό δεσμό τα στοιχεία στα δεξιά του Περιοδικού Πίνακα έχουν υψηλές ενέργειες ιοντισμού. Τα στοιχεία αυτά είναι «απρόθυμα» να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν κατιόντα, έτσι μοιράζονται τα ηλεκτρόνιά τους.
25. Τα ηλεκτρόνια διαμοιράζονται μεταξύ γειτονικών ατόμων και ο δεσμός (ομοιοπολικός) υπάρχει μεταξύ των δύο γειτονικών ατόμων και δεν κατανέμεται σε πάνω από εκατομμύρια ιόντα. Μια συνέπεια αυτού του τοπικού χαρακτήρα είναι ότι τα ομοιοπολικά συνδεδεμένα είδη είναι διακριτά μόρια π.χ. H_2 , H_2O , CO_2 .
26. Χρησιμοποιεί ο ίδιος ο συγγραφέας, σε κάποιο σημείο, κατά την περιγραφή του ομοιοπολικού δεσμού, ανθρωπομορφικούς όρους όταν αναφέρεται σε άτομα. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε: «ικανοποιημένο να» και «σκέπτεται παρομοίως». Αναφέρει ότι οι όροι αυτοί μπορεί να είναι για έναν χημικό πρόχειροι και ακατάλληλοι, αλλά πολλές φορές, όταν εισάγονται σωστά, μοιάζουν απλοί και μας βοηθούν να αποφύγουμε σχολαστικές περιφράσεις.

27. Για να τονιστεί ο ομοιοπολικός δεσμός μεταξύ ατόμων του ίδιου στοιχείου, χρησιμοποιούνται ως παραδείγματα το H_2 , το O_2 και το Cl_2 . Το H_2 χρησιμοποιείται ως παράδειγμα για τον απλό ομοιοπολικό δεσμό. Το μόριο του CO_2 χρησιμοποιείται ως παράδειγμα περισσότερων του ενός κοινών ζευγών ηλεκτρονίων μεταξύ δύο ατόμων (περίπτωση διπλού δεσμού). Επίσης γίνεται αναφορά στον τριπλό ομοιοπολικό δεσμό και στη σπάνια περίπτωση του τετραπλού δεσμού.
28. Αναφέρει ότι ο σχηματισμός της «οκτάδας», για το άτομο του οξυγόνου, στην περίπτωση του διπλού ομοιοπολικού δεσμού του μορίου οξυγόνου δεν θεωρείται πάντα μια «αξιόπιστη αρχή».
29. Δεν χρησιμοποιούνται όλα τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας στη δημιουργία του ομοιοπολικού δεσμού. Τα ζεύγη που δεν συμμετέχουν ονομάζονται «μοναχικά» ή «μονήρη». Ως παράδειγμα σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται το μόριο του H_2O .
30. Αναφέρει ότι δεν είναι όλα τα ομοιοπολικά συνδεδεμένα είδη διακριτά μόρια. Σε κάποιες περιπτώσεις για το σχηματισμό ομοιοπολικού δεσμού είναι δυνατό να καταλήγουμε σε εκτεταμένα δίκτυα δεσμών, όπως συμβαίνει π.χ. με το διαμάντι.

4.5.1.6. Η κβαντομηχανική των δεσμών

31. Γίνεται αναφορά στις δύο κβαντομηχανικές θεωρίες σχηματισμού του δεσμού: στη θεωρία δεσμού σθένους (VB theory) και τη θεωρία μοριακών τροχιακών (MO theory).
32. Η βασική ιδέα της θεωρίας του δεσμού σθένους είναι ότι για το ζεύγος των ηλεκτρονίων που σχηματίζουν έναν δεσμό μπορεί να γραφτεί μια κυματοσυνάρτηση. Κάθε ηλεκτρόνιο έχει ένα spin (μια στροφορμή εξ αυτοπεριστροφής) και τα δύο ηλεκτρόνια πρέπει να περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Τα δύο ηλεκτρόνια δημιουργούν ζεύγος. Αυτό το ζευγάριωμα επιτρέπει στα δύο ηλεκτρόνια να συγκεντρώνονται μεταξύ των δύο πυρήνων.
33. Αναφέρεται στην δημιουργία υβριδικών τροχιακών (η έννοια του υβριδισμού) στην περίπτωση του CH_4 και στην δημιουργία της τετραεδρικής δομής του.
34. Αναφέρεται η έννοια του συντονισμού για το υδροχλώριο (HCl). Στην περίπτωση όμως μεγάλων μορίων ο συντονισμός (λόγω των πολλών δομών) αποδείχτηκε ένα ανυπέρβλητο εμπόδιο.

35. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια φυσική επέκταση της θεωρίας της ηλεκτρονιακής δομής των ατόμων. «Μοριακά τροχιακά» ονομάζονται οι κυματοσυναρτήσεις κατανομής των ηλεκτρονίων σε ένα μόριο.
36. Ισχύει η απαγορευτική αρχή του Pauli για κάθε μοριακό τροχιακό.
37. Τα μοριακά τροχιακά κατασκευάζονται από όλα τα ατομικά τροχιακά που είναι παρόντα στο μόριο. Ο συνδυασμός δύο ατομικών τροχιακών οδηγεί στη δημιουργία ενός δεσμικού και ενός αντιδεσμικού τροχιακού (δίνονται και τα αντίστοιχα σχήματα).

4.5.2. Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia).

L.J. Lagoswski (Ed.), MacMillan.

Vol. 1

4.5.2.1. Ατομική Δομή

Εισαγωγή

1. Αρχίζει κάνοντας αναφορά στους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους. Κατόπιν αναφέρεται στην πειραματική απόδειξη από τον John Dalton και στην ατομική του θεωρία.

Η σύγχρονη άποψη για το άτομο

2. Ακολουθεί η σύγχρονη άποψη για το άτομο: ότι αποτελείται από τρία κύρια σωματίδια, το πρωτόνιο, το νετρόνιο και το ηλεκτρόνιο. Με μια σειρά πειραματικών διαδικασιών οδηγηθήκαμε στην ανακάλυψη των υποατομικών σωματιδίων.
3. Δίνεται ο ορισμός του νόμου της χημικής περιοδικότητας και του ατομικού αριθμού.

Το μοντέλο του Bohr για το άτομο

4. Αναφέρεται το μοντέλο του Bohr για το άτομο.

Ατομικά φάσματα

5. Γίνεται αναφορά στα συνεχή και στα γραμμικά φάσματα. Κάθε στοιχείο έχει ένα χαρακτηριστικό γραμμικό φάσμα. Εξηγείται η εξίσωση του Planck, $E = h \nu$.

Το κβαντικό μοντέλο του Bohr

6. Γίνεται αναφορά στο κβαντικό μοντέλο του Bohr το οποίο συσχετίζει τη διαφορά ενέργειας, ΔE , κατά τη μετάπτωση ηλεκτρονίου από μια ενεργειακή στάθμη σε μια άλλη, με τη συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας να δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta E = E_{n1} - E_{n2} = h \nu$$

Η εξίσωση Schrödinger

7. Αναφέρεται και περιγράφεται η εξίσωση Schrödinger.
8. Αναφέρεται η απαγορευτική αρχή του Pauli.

9. Γίνεται αναλυτική αναφορά στους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς (n , l , m_l , m_s).
10. Αναφέρονται τα τροχιακά s , p , d , f καθώς και τα σχήματα αυτών, τα οποία και απεικονίζονται χρησιμοποιώντας τις οριακές καμπύλες ως πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου.

Η αρχή Aufbau

11. Γίνεται εκτενής αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau) και, κατ' επέκταση, στην αρχή ελάχιστης ενέργειας, την απαγορευτική αρχή του Pauli και του κανόνα του Hund.
12. Δίνονται παραδείγματα ηλεκτρονιακής κατανομής σε διάφορα άτομα με βάση την αρχή της ηλεκτρονιακής δόμησης.
13. Αναφέρεται η σπουδαιότητα της εξωτερικής στοιβάδας η οποία ονομάζεται και στοιβάδας σθένους.
14. Δίνεται απεικόνιση του Περιοδικού Πίνακα με βάση τους τομείς s , p , d , f .
15. Γίνεται αναφορά ότι τα ημισυμπληρωμένα και πλήρως συμπληρωμένα, τροχιακά d (d^5 & d^{10} αντιστοίχως) εμφανίζουν μεγαλύτερη σταθερότητα. Έτσι αντί των αναμενόμενων ηλεκτρονιακών απεικονίσεων: $\dots(n-1)d^4ns^2$ & $\dots(n-1)d^9ns^2$, προτιμώνται οι ηλεκτρονιακές απεικονίσεις: $\dots(n-1)d^5ns^1$ & $\dots(n-1)d^{10}ns^1$ αντίστοιχα.

(Tsaparlis, 2004)

4.5.2.2. Δεσμοί

Εισαγωγή

16. Γίνεται ταξινόμηση των ομογενών κρυσταλλικών στερεών σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τις διαφορετικές φυσικές ιδιότητες και με τους διαφορετικούς τύπους δυνάμεων: μεταλλικά, ιοντικά, ομοιοπολικού δικτύου, και μοριακά Van der Waals.

Οι τύποι των στερεών

17. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά για κάθε τύπο στερεού (δίνεται και σχηματική απεικόνιση των δομών τους).

Μεταλλικά: Καλοί αγωγοί ηλεκτρισμού τόσο στη στερεά κατάσταση όσο και ως τηγμένα υλικά. Παραδείγματα με σημεία τήξεως. Εκτοπισμένα ηλεκτρόνια σθένους, «θάλασσα ηλεκτρονίων».

Ιοντικά: Εύθραυστα υλικά τα οποία άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα όταν είναι τήγμένα και όχι σε στερεά κατάσταση. Υψηλά σημεία τήξεως. Δίνονται παραδείγματα. Τα ηλεκτρόνια περιορίζονται γύρω από κάθε άτομο. Τα κατιόντα και τα ανιόντα συγκρατούνται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις coulomb.

Ομοιοπολικού δικτύου: Στερεά εξαιρετικά σκληρά που έχουν πολύ υψηλά σημεία τήξεως. Δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα στη στερεά κατάσταση, ούτε τα τήγματά τους. Συγκρατούνται με τρισδιάστατο δίκτυο ομοιοπολικών δεσμών. Τα ηλεκτρόνια περιορίζονται σε ζεύγη σε μια περιοχή πάνω σε μια γραμμή μεταξύ των κέντρων των ζευγών των ατόμων. Δίνονται παραδείγματα.

Μοριακά Van der Waals: Υλικά με πολύ χαμηλά σημεία τήξεως που δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα είτε είναι σε στερεά κατάσταση, είτε τα τήγματά τους. Τα μόρια από τα οποία αποτελούνται έλκονται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Τα ηλεκτρόνιά τους περιορίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές. Δίνονται παραδείγματα.

18. Αναπαριστά τους παραπάνω τύπους δεσμού με τις κορυφές ενός τετραέδρου. Ενδιάμεσοι τύποι δεσμού, π.χ. δεσμός υδρογόνου, τοποθετούνται στις έδρες του τετραέδρου.
19. Ξεκινά με τη μελέτη του μεταλλικού δεσμού, μετά συνεχίζει με τον ιοντικό και κατόπιν με τον ομοιοπολικό δεσμό.

Μεταλλικός δεσμός

20. Μεταλλικός δεσμός: Ιδιότητες μετάλλων, διάταξη ατόμων στο μεταλλικό πλέγμα. Αναφορά στα κράματα.

Ιοντικός δεσμός

21. Ο ιοντικός δεσμός δημιουργείται από την αντίδραση δύο στοιχείων από πολύ διαφορετικές ομάδες του Π.Π. (π.χ. μέταλλα των ομάδων 1 και 2 με αμέταλλα των ομάδων 16 και 17).
22. Το στερεό δομείται από εναλλασσόμενα θετικά και αρνητικά ιόντα, ενώ η δομή του εξαρτάται από το φορτίο των ιόντων και από τα σχετικά τους μεγέθη (τον λόγο των ακτίνων τους).
23. Δίνεται ο ορισμός του ιοντισμού.
24. Αναφέρεται στα οκτώ ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας και την αποκαλεί «κλειστή στοιβάδα». Πιο συγκεκριμένα: «Το μέταλλο χάνει ηλεκτρόνια και

μετατρέπεται σε κατιόν με μια κλειστή στοιβάδα, με κόστος την ενέργεια ιοντισμού (IE): $\text{Na}^0 - e^- \rightarrow \text{Na}^+$. Ένα άτομο αλογόνου αποκτά ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει ένα ανιόν με μια κλειστή στοιβάδα, απελευθερώνοντας ενέργεια, την ηλεκτρονιοσυγγένεια (EA): $\text{F} + e^- \rightarrow \text{F}^-$ ».

25. Δίνεται ο τύπος της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb που ασκείται μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων ιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα. Κατόπιν συσχετίζεται η ενέργεια του κρυσταλλικού πλέγματος, το σημείο τήξεως και η διαλυτότητα στο νερό με το γινόμενο των αριθμών οξείδωσης των ιόντων.
26. Δίνεται ο ορισμός του πλέγματος και σχηματική αναπαράσταση ιοντικού κρυστάλλου (κατιόντα και ανιόντα σε σφαιρική μορφή).

Ομοιοπολικός δεσμός

27. Ο ομοιοπολικός δεσμός δημιουργείται μεταξύ όμοιων ατόμων, ειδικότερα αυτών που βρίσκονται στην πάνω δεξιά γωνία του Π.Π.. Έτσι προκύπτουν τρισδιάστατες δομές όπως το διαμάντι ή απλά μόρια όπως το H_2S . Είναι ισχυροί δεσμοί που οδηγούν σε μόρια συγκεκριμένης γεωμετρίας (CH_4) ή σε μόρια με ασύμμετρα άτομα άνθρακα (γαλακτικό οξύ).
28. Δημιουργείται μεταξύ ατόμων που μοιράζονται ζεύγη ηλεκτρονίων (δίνεται πίνακας παραδειγμάτων).
29. Γίνεται αναφορά στην οκτάδα ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας και στις δομές Lewis (απλός, διπλός, τριπλός δεσμός). Επίσης γίνεται διάκριση μεταξύ ζευγών ηλεκτρονίων που συμμετέχουν σε δεσμό και σε ζεύγη ηλεκτρονίων που δεν συμμετέχουν (μοναχικά/μονήρη ηλεκτρόνια).
30. Οι δομές Lewis δεν δίνουν πληροφορίες για το σχήμα των μορίων, αυτό γίνεται με τη θεωρία VSEPR.
31. Πειραματικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι το μόριο του οξυγόνου είναι παραμαγνητικό (με δύο μονήρη ηλεκτρόνια), κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τη δομή Lewis.
32. Υπάρχουν δύο κβαντομηχανικές προσεγγίσεις για τον ομοιοπολικό δεσμό, η θεωρία των μοριακών τροχιακών και η θεωρία δεσμού σθένους.
33. Γίνεται αναφορά στα ατομικά τροχιακά (s , p_x , p_y , p_z) και σχηματική αναπαράσταση, χρησιμοποιώντας οριακές καμπύλες. Δίνεται και ο ορισμός του ατομικού τροχιακού.

34. Γίνεται αναφορά στα υβριδικά ατομικά τροχιακά (sp , sp^2 , sp^3) και στα σχήματα των μορίων ανάλογα με τον τύπο υβριδισμού (γραμμικό, επίπεδο τριγωνικό, τετραεδρικό), αλλά και στις γωνίες που σχηματίζουν οι δεσμοί μεταξύ τους. Επίσης δίνονται και παραδείγματα μορίων στα οποία συναντώνται τα παραπάνω τροχιακά (παρατίθεται και πίνακας με επιπλέον πληροφορίες: συντακτικός τύπος, M_r , σημείο βρασμού, πληροφορίες για το γεωμετρικό σχήμα, τύπος δεσμού μεταξύ ατόμων άνθρακα).
35. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας ενός υβριδικού τροχιακού sp από ένα s και ένα p τροχιακό.

Δοτικός δεσμός

36. Γίνεται αναφορά στο δοτικό δεσμό (για περίπτωση ομοιοπολικού δεσμού) και δίνονται και ορισμένα παραδείγματα.

Δυνάμεις Van der Waals

37. Αναφέρει τις ελκτικές δυνάμεις Van de Waals μεταξύ των μορίων (διαμοριακές δυνάμεις) οι οποίες είναι ασθενείς. Δίνονται παραδείγματα και εξηγεί πώς προκύπτουν οι ελκτικές αυτές δυνάμεις.
38. Εξηγούνται οι όροι: ηλεκτραρνητικότητα, πολικοί δεσμοί, διπολική ροπή «μ». Για το αν τελικά θα έχουμε πολικό μόριο παίζει ρόλο και η γεωμετρία του μορίου στο χώρο.
39. Αναφέρονται παραδείγματα ουδέτερων μορίων με μηδενική διπολική ροπή, τα οποία έλκονται αμοιβαία και έτσι μπορούν να υγροποιηθούν ή να μετατραπούν σε στερεά. Αυτές οι έλξεις οφείλονται στις δυνάμεις διασποράς (London). Εξηγείται πώς αυτές δημιουργούνται μεταξύ των μορίων. Αναφέρεται στον όρο πόλωση (polarization) και με τους παράγοντες που αυτός συσχετίζεται. Δίνει παραδείγματα ουσιών με υψηλά σημεία τήξεως.
40. Παρουσιάζεται ο δεσμός υδρογόνου. Εμφανίζεται σε άτομα H που συνδέονται με ένα άτομο F ή O ή N , ως αποτέλεσμα ισχυρών έλξεων μεταξύ ζευγών μορίων. Αναφέρονται ως δυνάμεις με συγκεκριμένη κατεύθυνση και δίνονται και αντίστοιχα παραδείγματα.

Ενδιάμεσες περιπτώσεις δεσμών

41. Αναφέρεται σε παραδείγματα ουσιών που δεν μπορούν να ταξινομηθούν σε καμιά κατηγορία των τεσσάρων τύπων δεσμού, π.χ. ο κασσίτερος σε θερμοκρασία δωματίου, το γάλλιο στη στερεά κατάσταση. Ως περιπτώσεις ενδιάμεσου τύπου δεσμού δίνονται επίσης: τα κράματα, οι ημιαγωγοί, τα πυριτικά ορυκτά και το γυαλί.
- (Laing, 2004)

Vol. 3**4.5.2.3. Δομές Lewis**

42. Διατυπώνονται οι τέσσερις υποθέσεις στις οποίες βασίστηκε το μοντέλο του Lewis (σχετικά με την τοποθέτηση των ηλεκτρονίων γύρω από τα άτομα, στις ακμές ομόκεντρων κύβων).
43. Με βάση τα παραπάνω, ο Lewis καθόρισε τους τύπους απλών ιοντικών ουσιών (π.χ. NaCl). Επειδή τα εξωτερικά ατομικά τροχιακά τέτοιων ατόμων (Na, Cl) είναι τα s και p, η εξωτερική στοιβάδα θα συμπληρώνεται με 8 ηλεκτρόνια (ns^2np^6). Γίνεται λοιπόν αντιληπτό γιατί το 8 ήταν ο «μαγικός αριθμός» για κάθε κύρια ομάδα στοιχείων.
44. Δίνεται ο ορισμός του ατομικού τροχιακού.
45. Εξηγείται η έννοια των ηλεκτρονίων σθένους (συσχέτιση με τις υποστοιβάδες).
46. Δίνεται ο ορισμός της υποστοιβάδας και του ομοιοπολικού δεσμού.
47. Αναφέρεται στις δομές Lewis για τον ομοιοπολικό δεσμό και στη διαδικασία βημάτων που πρέπει να ακολουθήσουμε προκειμένου να σχεδιάσουμε αυτές τις ηλεκτρονιακές δομές (δίνονται και τα κατάλληλα παραδείγματα).
48. Εξηγείται η έννοια της ηλεκτραρνητικότητας.

(Bodner, 2004)

4.5.2.4. Θεωρία Μοριακών Τροχιακών

49. Δίνεται ο ορισμός του μοριακού τροχιακού.
50. Γίνεται αναφορά και σχηματική απεικόνιση του δεσμικού μοριακού τροχιακού σ και του αντιδεσμικού μοριακού τροχιακού σ^* (που προκύπτουν από ατομικά τροχιακά s). Απεικονίζεται επίσης σχηματικά πώς από τον συνδυασμό ατομικών τροχιακών p προκύπτουν τα μοριακά τροχιακά σ και π.

51. Εξηγείται περιγραφικά και διαγραμματικά πώς προκύπτουν το δεσμικό σ και το αντιδεσμικό τροχιακό σ^* από τον συνδυασμό δύο ατομικών τροχιακών. Χρησιμοποιούνται ως παραδείγματα τα διατομικά μόρια υδρογόνου (H_2) και ηλίου (He_2).

Τάξη δεσμού

52. Εξηγείται με τη χρήση μαθηματικού τύπου και με παραδείγματα πώς καθορίζεται η τάξη δεσμού ενός μορίου.

Πολλαπλοί δεσμοί

53. Αναφέρεται στους πολλαπλούς δεσμούς (διπλό και τριπλό δεσμό) που δημιουργούνται με βάση τη θεωρία των μοριακών τροχιακών. Χρησιμοποιεί ως παράδειγμα το μόριο του O_2 , εξηγώντας τόσο την τάξη δεσμού όσο και το λόγο που είναι παραμαγνητικό. Επισημαίνει ότι η θεωρία των μοριακών τροχιακών είναι κατάλληλη και για μεγαλύτερα μόρια, για πολυατομικά ιόντα και αρωματικά μόρια. (Kolb, 2004)

4.5.2.5. Μοριακή Δομή

Η εμφάνιση και η επανεμφάνιση της ατομικής θεωρίας

54. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή. Αναφορά στην έννοια του ατόμου που αναφέρθηκε πρώτη φορά από αρχαίους φιλοσόφους. Στο πέρασμα των χρόνων, η θεωρία ξεχάστηκε. Τα πρώτα πειραματικά δεδομένα (χημικές αναλύσεις) του 17^{ου} αιώνα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι διαφορετικές ουσίες έχουν διαφορετικά συστατικά. Η έννοια του χημικού δεσμού και της μοριακής γεωμετρίας εμφανίστηκαν στις αρχές του 19^{ου} αιώνα.

Η ισομέρεια και η ανάπτυξη των μοριακών δομικών μοντέλων

55. Αναφέρεται στην έννοια της ισομέρειας και ορισμένα είδη αυτής μέσα από παραδείγματα. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρει ως συντακτικά ισομερή τα παρακάτω ζεύγη ουσιών: α. ουρία – κυανικό αμμώνιο και αιθανόλη – διμεθυλαιθέρα. Κατόπιν συνεχίζει με ένα άλλο είδος ισομέρειας την εναντιομέρεια (η οποία ανήκει στην στερεοϊσομέρεια) δίνοντας και κατάλληλο παράδειγμα. Γίνεται αναφορά και στις στερεοχημικές απεικονίσεις R και S.

Θεωρία Μοριακής Δομής

56. Γίνεται αναφορά στην κβαντομηχανική εικόνα, με τα ηλεκτρόνια να είναι όχι εντοπισμένα αλλά απεντοπισμένα/εκτοπισμένα, ενώ οι απλοί χημικοί δεσμοί σχηματίζονται με την επικάλυψη των ατομικών τροχιακών κατά μήκος του διαπυρηνικού άξονα των δύο ατόμων.
57. Αναφέρεται στη διαδρομή που ακολουθήθηκε από την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου, από τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων μεταξύ των ατόμων μέχρι και την κβαντομηχανική, τα εκτοπισμένα ηλεκτρόνια, τα ατομικά και μοριακά τροχιακά, τους δεσμούς «σ» και «π».

(Coppola, 2004)

4.5.2.6. Μόρια

58. Δίνονται οι ορισμοί: μόριο, ομοιοπολικός δεσμός, αδρανές αέριο.
59. Αναφέρεται στην ατομικότητα του μορίου και ταξινομεί τα μόρια σε ομοπυρηνικά και ετεροπυρηνικά (δίνοντας και αντίστοιχα παραδείγματα).
60. Συνδέει τη σύγχρονη αντίληψη για τον ομοιοπολικό δεσμό με τη δυνατότητα να προβλέπουμε τη γεωμετρία του μορίου και συνεπώς τις ιδιότητες της ύλης.

Θεωρία VSEPR

61. Αναφέρεται η θεωρία VSEPR (θεωρία απόσσεως ηλεκτρονιακών ζευγών της στοιβάδας σθένους). Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα βασικά σημεία διατύπωσης της θεωρίας, τα βήματα που ακολουθούνται για τον καθορισμό της γεωμετρίας των ομοιοπολικών μορίων και τέλος πίνακες που καθορίζουν (με βάση τα δεσμικά και τα μη δεσμικά ηλεκτρόνια) τη μοριακή γεωμετρία.

Ιδιότητες

62. Αν ένα μόριο θα εμφανίζει πολικότητα ή όχι εξαρτάται, εκτός από τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας των ατόμων του, και από τη γεωμετρία του μορίου. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες εξαρτώνται και αυτές από τη γεωμετρία του μορίου (π.χ. ισομερή cis και trans).

(Boschmann, 2004)

Vol. 4*4.5.2.7. Θεωρία Δεσμού Σθένους*

63. Αναφέρεται στη θεωρία δεσμού σθένους δίνοντας απλά παραδείγματα (H_2 , H_2O , κ.ά.), αλλά και στην περίπτωση του υβριδισμού για το μόριο του CH_4 .

Ο δεσμός στο BF_3

64. Δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην περιγραφή του δεσμού στο μόριο του BF_3 (υβριδισμός sp^2). Ο δεσμός B–F έχει τάξη δεσμού $1\frac{1}{3}$ λόγω του υβριδικού συντονισμού των τριών δομών που εμφανίζει. Έτσι το βόριο αποκτά οκτάδα ηλεκτρονίων (το κάθετο τροχιακό $2p$, που απομένει κενό στο βόριο, μπορεί να δεχθεί ηλεκτρονιακή πυκνότητα από τα τρία άτομα φθορίου).

Ορισμένα μειονεκτήματα

65. Η θεωρία του δεσμού σθένους είναι χρήσιμη στην οργανική χημεία (π.χ. υβριδισμός sp^3), μειονεκτεί όμως σε περιπτώσεις όπως: CO_3^{2-} , NO_3^- και το βενζόλιο. Ακόμη χειρότερα δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητική εικόνα δεσμού για μόρια όπως το O_2 και το CO . Στις παραπάνω περιπτώσεις χρησιμοποιείται η θεωρία των μοριακών τροχιακών. Καταλήγει ότι καθεμιά από τις παραπάνω θεωρίες είναι μια προσέγγιση, ημιτελής και ελαττωματική.

(Laing, 2004)

4.6. Συγκριτική ανάλυση Atkins και Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας

Αφού παρουσιάστηκαν, για κάθε βιβλίο ξεχωριστά, τα σημεία που συσχετίζονται με την έννοια του χημικού δεσμού (σειρά αναφοράς των ειδών δεσμού, χρήση εννοιών κ.λπ.), θα ακολουθήσει μια συνολική οριζόντια ανάλυση των δύο παραπάνω συγγραμμάτων. Παρακάτω παρουσιάζεται μια σειρά θεμάτων⁷ στα οποία παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές αλλά και ομοιότητες ως προς:

1. Τη σειρά αναφοράς των ενδομοριακών δεσμών.
2. Το εάν και πώς αναφέρεται ο μεταλλικός δεσμός.
3. Το εάν αναφέρεται ή όχι ο ημιπολικός δεσμός.
4. Το εάν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών.
5. Τον τρόπο περιγραφής της ηλεκτρικότητας και της πολικότητας των δεσμών.
6. Την αναφορά στον κανόνα της οκτάδας.
7. Το εάν παρουσιάζονται τα ενεργειακά διαγράμματα του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού.
8. Την αναφορά στην κρυσταλλική και στη μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα. Την αναφορά στις δυνάμεις Coulomb, στην ηλεκτροστατική φύση, στα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων και στις δομές Lewis.
9. Την αναφορά στις ιδιότητες των ουσιών: ατομική ακτίνα, ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονιακή συγγένεια και ενέργεια πλέγματος.
10. Την αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους και τη θεωρία των μοριακών τροχιακών.
11. Την αναφορά στην έννοια του υβριδισμού (δημιουργία υβριδικών τροχιακών/γωνίες δεσμών).
12. Την αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau).
13. Τον τρόπο περιγραφής του απλού, διπλού και τριπλού ομοιοπολικού δεσμού.
14. Την αναφορά και παρουσίαση των τροχιακών s, p, d, f.
15. Το εάν γίνεται αναφορά στη θεωρία VSEPR.
16. Το εάν παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των δεσμών «σ» και «π».

⁷ Τμήμα της συγκεκριμένης σειράς θεμάτων προτάθηκε από τη διδάκτορα Ελένη Παππά στα πλαίσια της εκπόνησης της διδακτορικής της διατριβής με θέμα: «Ενδομοριακοί και διαμοριακοί δεσμοί: Ιεραρχίες μάθησης στην βιβλιογραφία της Γενικής Χημείας και στην προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης (SOMA). Αξιολόγηση των ερωτήσεων των αντίστοιχων κεφαλαίων» (Παππά, 2015).

17. Το εάν παρουσιάζονται οι έννοιες της τάξης δεσμού και του συντονισμού σε ένα μόριο.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ. Σε σχέση με τη σύγκριση των δύο παραπάνω βιβλίων, θα πρέπει βέβαια να λάβουμε ότι το βιβλίο του Atkins είναι μια «πολύ σύντομη εισαγωγή στη Φυσικοχημεία», εκτάσεως 128 μικρού μεγέθους σελίδων, ενώ το Αμερικάνικο βιβλίο είναι μια τετράτομη εγκυκλοπαίδεια μεγάλου σχήματος, που καλύπτει το σύνολο της χημείας και όπου κάθε λήμμα έχει γραφτεί από διαφορετικό ειδικό συγγραφέα. Ως εκ τούτου, η εγκυκλοπαίδεια έχει τον χώρο και την πολυτέλεια να καλύπτει σε μεγαλύτερη έκταση/πληρότητα την ύλη που μας ενδιαφέρει.

1. Ως προς την σειρά παρουσίασης των ενδομοριακών δεσμών.

Και στις δύο περιπτώσεις πρώτα μελετάται ο ιοντικός δεσμός και κατόπιν ο ομοιοπολικός δεσμός.

2. Ως προς το αν και πώς αναφέρεται ο μεταλλικός δεσμός.

Στην Αμερικάνικη εγκυκλοπαίδεια γίνεται αναφορά πρώτα στον μεταλλικό δεσμό και κατόπιν στους δύο άλλους ενδομοριακούς δεσμούς (ιοντικό και ομοιοπολικό). Πιο συγκριμένα, αναφέρεται στα μεταλλικά στερεά και κατόπιν στο μεταλλικό δεσμό, στις ιδιότητες μετάλλων, στη διάταξη ατόμων στο μεταλλικό πλέγμα και στα κράματα.

Στην περίπτωση του Atkins η μελέτη του μεταλλικού δεσμού γίνεται ξεχωριστά σε επόμενο κεφάλαιο.

3. Ως προς το εάν αναφέρεται ή όχι ο ημιπολικός δεσμός.

Μόνο στην Αμερικάνικη εγκυκλοπαίδεια, μετά τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό, γίνεται αναφορά στο δοτικό δεσμό (μια περίπτωση ομοιοπολικού δεσμού) και δίνονται και ορισμένα παραδείγματα.

4. Ως προς το εάν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη ώστε να εντοπιστεί εάν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών ή μελετώνται ξεχωριστά ως ανεξάρτητοι δεσμοί. Παρατηρήθηκε ότι δεν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών.

5. Ως προς τον τρόπο περιγραφής της ηλεκτραρνητικότητας και της πολικότητας των δεσμών.

Μελετήθηκε ως προς το πώς αλλά και σε ποιο σημείο εισάγεται η έννοια της ηλεκτραρνητικότητας. Μόνο στην Αμερικάνικη εγκυκλοπαίδεια περιγράφεται και εξηγείται η έννοια της ηλεκτραρνητικότητας και συσχετίζεται με την πολικότητα των δεσμών. Αυτό γίνεται στην ενότητα των μορίων (εδώ γίνεται ξανά αναφορά στον ομοιοπολικό δεσμό) και εισάγεται η έννοια της διπολικής ροπής, η οποία σε συνδυασμό με τη γεωμετρία του μορίου, θα καθορίσει αν το μόριο τελικά θα είναι πολικό ή όχι.

6. Ως προς την αναφορά στον κανόνα της οκτάδας.

Η επόμενη έρευνα που ακολουθήθηκε, αφορούσε τον τρόπο παρουσίασης του κανόνα της οκτάδας.

Στην περίπτωση του Atkins ο «κανόνας της οκτάδας» αναφέρεται στην περίπτωση του ομοιοπολικού δεσμού. Πιο συγκεκριμένα αναφέρει ότι: «ο σχηματισμός της “οκτάδας”, για το άτομο του οξυγόνου, στην περίπτωση του διπλού ομοιοπολικού δεσμού του μορίου οξυγόνου δεν θεωρείται πάντα μια “αξιόπιστη αρχή”».

Όσον αφορά την Αμερικάνικη εγκυκλοπαίδεια, αυτή αναφέρεται στα οκτώ ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας (για την περίπτωση του ιοντικού δεσμού) και την αποκαλεί «κλειστή στοιβάδα». Πιο συγκεκριμένα: «Το μέταλλο χάνει ηλεκτρόνια και μετατρέπεται σε κατιόν με μια κλειστή στοιβάδα, με κόστος την ενέργεια ιοντισμού (IE): $\text{Na}^0 - e^- \rightarrow \text{Na}^+$. Ένα άτομο αλογόνου αποκτά ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει ένα ανιόν με μια κλειστή στοιβάδα, απελευθερώνοντας ενέργεια, την ηλεκτρονιοσυγγένεια (EA): $\text{F} + e^- \rightarrow \text{F}^-$ ». Αναφορά στην οκτάδα ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας γίνεται και στον ομοιοπολικό δεσμό. Ως παράδειγμα σχηματισμού οκτάδας αναφέρεται το μόριο του BF_3 . Το βόριο αποκτά οκτάδα ηλεκτρονίων (το κάθετο τροχιακό $2p$, που απομένει κενό στο βόριο, μπορεί να δεχθεί ηλεκτρονιακή πυκνότητα από τα τρία άτομα φθορίου).

7. Ως προς το εάν παρουσιάζονται τα ενεργειακά διαγράμματα του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού.

Μόνο στην Αμερικάνικη εγκυκλοπαίδεια παρουσιάζονται ενεργειακά διαγράμματα. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τα ενεργειακά διαγράμματα στην περίπτωση

της θεωρίας των μοριακών τροχιακών για τα διατομικά μόρια του υδρογόνου (H_2), του οξυγόνου (O_2) και του ηλίου (He_2).

8. Ως προς την αναφορά στην κρυσταλλική και στη μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα. Την αναφορά στις δυνάμεις Coulomb, στην ηλεκτροστατική φύση, στα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων και στις δομές Lewis.

Κρυσταλλική και μοριακή δομή:

Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται αναφορά στην κρυσταλλική και στη μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα.

Δυνάμεις Coulomb:

Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού, αναφορά στην ύπαρξη δυνάμεων Coulomb γίνεται μόνο στην Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια. Κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού αναφορά στις δυνάμεις Coulomb δεν γίνεται σε καμία περίπτωση.

Ηλεκτροστατική φύση:

Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού περιγράφεται η ηλεκτροστατική φύση του δεσμού και στις δύο περιπτώσεις.

Δομές Lewis:

Κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού γίνεται αναφορά σε δομές Lewis και στις δύο περιπτώσεις. Αντίθετα κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού δεν γίνεται αναφορά στις δομές Lewis σε καμιά από τις δύο περιπτώσεις.

Να συμπληρώσουμε επίσης ότι στην Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια αναφέρεται ότι: «Πειραματικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι το μόριο του οξυγόνου είναι παραμαγνητικό (με δύο μονήρη ηλεκτρόνια), κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τη δομή Lewis», άρα και κατ' επέκταση με τον «κανόνα της οκτάδας» (βλ. 6, αναφορά στον κανόνα της οκτάδας).

Κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων:

Κατά τη μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού, και στις δύο περιπτώσεις, γίνεται αναφορά στην ύπαρξη κοινών ζευγών ηλεκτρονίων κατά τον σχηματισμό του δεσμού.

9. Ως προς την αναφορά στις ιδιότητες των ουσιών: ατομική ακτίνα, ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονική συγγένεια και ενέργεια πλέγματος.

Ατομική ακτίνα

Στην περίπτωση του Atkins δίνεται ο ορισμός της ατομικής ακτίνας (μέγεθος ατόμου) και εξηγείται πώς αυτή μεταβάλλεται μέσα σε μια ομάδα και κατά μήκος μιας περιόδου. Στην Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια δεν αναφέρεται η έννοια της ατομικής ακτίνας.

Ενέργεια ιοντισμού και ηλεκτρονική συγγένεια.

Κατά την περιγραφή του ιοντικού δεσμού, γίνεται αναφορά στην ενέργεια ιοντισμού και στην ηλεκτροσυγγένεια. Αυτό ισχύει και για τον Atkins αλλά και για την Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια. Στον Atkins μάλιστα η ενέργεια ιοντισμού αναφέρεται και κατά την περιγραφή του ομοιοπολικού δεσμού.

Ενέργεια πλέγματος

Η αναφορά στην ενέργεια πλέγματος, γίνεται κατά την περιγραφή του ιοντικού δεσμού μόνο στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας.

10. Ως προς την αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους (VB theory) και τη θεωρία των μοριακών τροχιακών (MO theory).

Τόσο στην περίπτωση του Atkins όσο και στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας γίνεται αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους και τη θεωρία των μοριακών τροχιακών.

11. Ως προς την αναφορά στην έννοια του υβριδισμού (δημιουργία υβριδικών τροχιακών/γωνίες δεσμών).

Γίνεται αναφορά στην έννοια του υβριδισμού. Στην περίπτωση του Atkins αναφέρεται στην δημιουργία υβριδικών τροχιακών (η έννοια του υβριδισμού) στην περίπτωση του CH_4 και στην δημιουργία της τετραεδρικής δομής του. Στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας γίνεται αναφορά στα υβριδικά ατομικά τροχιακά (sp , sp^2 , sp^3) και στα σχήματα των μορίων ανάλογα με τον τύπο υβριδισμού (γραμμικό, επίπεδο τριγωνικό, τετραεδρικό), αλλά και στις γωνίες που σχηματίζουν οι δεσμοί μεταξύ τους.

12. Ως προς την αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau).

Όσον αφορά την αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau), μπορούμε να πούμε ότι: α) στην περίπτωση του Atkins αναφέρονται τόσο η αρχή ελάχιστης ενέργειας όσο και η απαγορευτική αρχή του Pauli. Δεν αναφέρεται όμως ο κανόνας του Hund. β) Στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας γίνεται εκτενής αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau) και κατ' επέκταση: στην αρχή ελάχιστης ενέργειας, την απαγορευτική αρχή του Pauli και του κανόνα του Hund.

13. Ως προς τον τρόπο περιγραφής του απλού, διπλού και τριπλού ομοιοπολικού δεσμού.

Στην περίπτωση του Atkins το H_2 ως παράδειγμα χρησιμοποιείται για τον απλό ομοιοπολικό δεσμό. Το μόριο του CO_2 χρησιμοποιείται ως παράδειγμα περισσότερων του ενός κοινών ζευγών ηλεκτρονίων μεταξύ δύο ατόμων (περίπτωση διπλού δεσμού). Επίσης γίνεται αναφορά στον τριπλό ομοιοπολικό δεσμό και στη σπάνια περίπτωση του τετραπλού δεσμού. Στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας ο απλός, διπλός και τριπλός δεσμός περιγράφονται ως δημιουργία κοινού ή κοινών ζευγών ηλεκτρονίων, δίνοντας και παραδείγματα δομών Lewis. Οι πολλαπλοί δεσμοί μελετώνται και στην ενότητα των μοριακών τροχιακών.

14. Ως προς την αναφορά και παρουσίαση των τροχιακών s, p, d, f.

Και στις δύο περιπτώσεις αναφέρονται τα τροχιακά s, p, d, f καθώς και τα σχήματα αυτών.

15. Ως προς το εάν γίνεται αναφορά στη θεωρία VSEPR.

Μόνο στην Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια γίνεται αναφορά στη θεωρία VSEPR (θεωρία απώσεως ηλεκτρονιακών ζευγών της στοιβάδας σθένους). Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα βασικά σημεία διατύπωσης της θεωρίας, τα βήματα που ακολουθούνται για τον καθορισμό της γεωμετρίας των ομοιοπολικών μορίων και τέλος πίνακες που καθορίζουν (με βάση τα δεσμικά και τα μη δεσμικά ηλεκτρόνια) τη μοριακή γεωμετρία.

16. Ως προς το εάν παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των δεσμών «σ» και «π».

Μόνο στην Αμερικάνικη Εγκυκλοπαίδεια γίνεται αναφορά στον τρόπο δημιουργίας των δεσμών «σ» και «π».

17. Ως προς το εάν παρουσιάζονται οι έννοιες της τάξης δεσμού και του συντονισμού σε ένα μόριο.

Στην περίπτωση του Atkins γίνεται αναφορά στην έννοια του συντονισμού αλλά όχι στην έννοια της τάξης δεσμού. Στην περίπτωση της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας γίνεται αναφορά και στις δύο έννοιες. Ποιο συγκεκριμένα η τάξη δεσμού αναφέρεται τόσο ξεχωριστά σε συγκεκριμένη παράγραφο όσο και στην ενότητα των πολλαπλών δεσμών χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το μόριο του O_2 αλλά και κατά την περιγραφή του δεσμού στο μόριο του BF_3 . Στην τελευταία περίπτωση αναφέρεται και η έννοια του συντονισμού.

4.7. Παρουσίαση βιβλίων και συγκριτική ανάλυση

Αφού προηγήθηκε η συνολική οριζόντια ανάλυση των δύο παραπάνω συγγραμμάτων θα ακολουθήσει η παρουσίαση τεσσάρων επιπλέον βιβλίων. Από τα συγκεκριμένα βιβλία θα παρουσιαστούν τα κεφάλαια που είναι σχετικά με τους χημικούς δεσμούς. Στη συνέχεια θα γίνει και μια συγκριτική ανάλυση/αντιπαραβολή των βιβλίων αυτών με βάση τα 17 «σημεία» στα οποία στηρίχθηκε και η σύγκριση που έγινε μεταξύ Atkins και Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας.

4.7.1. Παρουσίαση βιβλίων

Τα βιβλία που στη συνέχεια θα συγκριθούν με βάση τα 17 «σημεία» είναι τα εξής:

A/A	Συγγραφείς	Τίτλος
1.	Keith S. Taber (επιμελητής έκδοσης και συγγραφέας του Κεφ. 4 και άλλων κεφαλαίων)	Teaching secondary chemistry (Ch. 4)
2.	Silbeberg Martin S.	Chemistry (The Molecular Nature of Matter and Change) 2 nd edition.
3.	Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος.	Χημεία Α΄ Λυκείου, Γενικής Παιδείας, 2021.
4.	Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος.	Χημεία Γ΄ Λυκείου, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών & Σπουδών Υγείας, τεύχος β΄, 2021.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ. Το βιβλίο του Taber απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με βάση τη διδασκόμενη ύλη χημείας στην Αγγλία και ουσιαστικά συνιστά διδακτικό μετασχηματισμό, καλύπτοντας αυτό που αποκαλείται στη διδακτική «*Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου*». Το βιβλίο του Silbeberg είναι βιβλίο «*Γενικής Χημείας*» (General Chemistry) και καλύπτει ύλη (με επιλογή του διδάσκοντος) για πρωτοετείς προπτυχιακούς πανεπιστημιακούς φοιτητές όχι μόνο

χημείας αλλά και ως επιλεγόμενο μάθημα άλλων σπουδών (π.χ. μαθηματικών, φυσικής, βιολογίας, γεωλογίας, φαρμακευτικής, ιατρικής, γεωπονικής και πλήθους άλλων). Τέλος, τα δύο ελληνικά βιβλία είναι το μεν πρώτο για τη χημεία ως μάθημα γενικής παιδείας για την Α' τάξη λυκείου, το δε δεύτερο για τη χημεία θετικής κατεύθυνσης της Γ' λυκείου. Το κεφάλαιο 4 του Taber παρατίθεται στο **Παράρτημα ΙΙΙ**, μεταφρασμένο στα ελληνικά από τους Ε. Πύργα και Γ. Τσαπαρλή.

1. Keith S. Taber (Teaching secondary chemistry).

Chapter 4: Developing models of chemical bonding (συγγραφέας: K. S. Taber)

Πίνακας 4.1: Παρουσίαση μελέτης του κεφαλαίου του δεσμού που προτείνεται στο βιβλίο του Keith S. Taber.

Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη μοντέλων χημικού δεσμού	
4.1 Από τη δύναμη συγκράτησης στο χημικό δεσμό.	• Ιδιότητες των ουσιών. • Δομή των υλικών. • Εξήγηση της δύναμης συγκράτησης.
4.2 Αρχές που διέπουν την έννοια του δεσμού.	• Η φύση του χημικού δεσμού. • Κβαντική θεωρία.
4.3 Μοντελοποίηση των ειδών του χημικού δεσμού.	• Μεταλλικά πλέγματα. • Ιοντικά πλέγματα. • Ομοιοπολικός δεσμός. • Πολικότητα δεσμού. • Άλλοι τύποι δεσμών.
4.4 Συσχετίζοντας το είδος του δεσμού με τις μεταβολές στη χημεία.	• Τήξη και βρασμός. • Διάλυση. • Δεσμοί και χημικές αντιδράσεις.

2. Silbeberg Martin S.: Chemistry (The Molecular Nature of Matter and Change) 2nd edition

Πίνακας 4.2: Παρουσίαση μελέτης των κεφαλαίων των δεσμών που προτείνεται στο βιβλίο του Silbeberg et al.

Κεφάλαιο 9 : Τα μοντέλα του χημικού δεσμού	
9.1. Ατομικές ιδιότητες και χημικοί δεσμοί.	• Είδη χημικών δεσμών (ιοντικός, ομοιοπολικός και μεταλλικός). • Δομές Lewis – Απεικόνιση ατόμων.
9.2. Μοντέλο Ιοντικού δεσμού.	• Ενεργειακοί υπολογισμοί στον ιοντικό δεσμό. • Περιοδικά χαρακτηριστικά στην ενέργεια πλέγματος • Πώς το μοντέλο εξηγεί τις ιδιότητες των ιοντικών ενώσεων.
9.3. Μοντέλο ομοιοπολικού δεσμού.	• Ο σχηματισμός του ομοιοπολικού δεσμού. • Ενέργεια δεσμού και μήκος δεσμού. • Πώς το μοντέλο εξηγεί τις ιδιότητες ομοιοπολικών ενώσεων.
9.4. Μεταξύ των ακραίων μορφών δεσμού: Ηλεκτραρνητικότητα και πολικότητα δεσμού.	• Ηλεκτραρνητικότητα. • Πολικοί ομοιοπολικοί δεσμοί και πολικότητα δεσμού. • Ο μερικός ιοντικός χαρακτήρας. • Η συνέχεια του δεσμού κατά μήκος μιας περιόδου.
9.5. Εισαγωγή στον μεταλλικό δεσμό.	• Το μοντέλο θάλασσας ηλεκτρονίων. • Πώς το μοντέλο εξηγεί τις ιδιότητες των μετάλλων.

Κεφάλαιο 10 : Τα σχήματα των μορίων	
10.1. Αναπαράσταση μορίων και ιόντων με τις δομές Lewis.	• Χρήση του κανόνα των οκτώ. • Συντονισμός. • Τυπικό φορτίο. • Εξαιρέσεις από τον κανόνα των οκτώ.
10.2. Χρήση των δομών Lewis και της ενέργειας δεσμού για τον υπολογισμό της θερμότητας αντίδρασης.	
10.3. Η θεωρία απόσβεως ηλεκτρονιακών ζευγών της στοιβάδας σθένους (VSEPR) και το μοριακό σχήμα.	• Διατάξεις ηλεκτρονίου-ομάδας και μοριακά σχήματα. • Γραμμική διάταξη. • Επίπεδη τριγωνική διάταξη. • Τετραεδρική διάταξη. • Τριγωνική διπυραμιδική διάταξη. • Οκταεδρική διάταξη. • Χρησιμοποιώντας τη θεωρία VSEPR για να καθορίσουμε το μοριακό σχήμα. • Σχήματα με περισσότερα από ένα κεντρικά άτομα.
10.4. Μοριακό σχήμα και μοριακή πολικότητα.	• Πολικότητα δεσμού, γωνία δεσμού, και στιγμιαίο δίπολο. • Μοριακή πολικότητα και συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 11 : Οι θεωρίες του ομοιοπολικού δεσμού	
11.1. Θεωρία δεσμού σθένους και υβριδοποίηση τροχιακών.	• Οι κεντρικές ιδέες της θεωρίας δεσμού σθένους. • Τύποι υβριδικών τροχιακών.
11.2. Ο τρόπος της επικάλυψης τροχιακού και οι τύποι των ομοιοπολικών δεσμών.	• Η θεωρία δεσμού σθένους στην περίπτωση του απλού και του πολλαπλού δεσμού. • Επικάλυψη τροχιακού και μοριακή περιστροφή.
11.3. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών και ο εκτοπισμός ηλεκτρονίου.	• Οι κεντρικές ιδέες της θεωρίας των μοριακών τροχιακών. • Τα ομοοπυρηνικά διατομικά μόρια και η δεύτερη περίοδος του Π.Π. των στοιχείων. • Μερικά ετεροοπυρηνικά διατομικά μόρια. • Η περιγραφή του όζοντος και του βενζολίου με τη θεωρία των μοριακών τροχιακών.

3. Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος. Χημεία Α΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας, 2021.

Πίνακας 4.3: Παρουσίαση μελέτης του κεφαλαίου των δεσμών που προτείνεται στο σχολικό βιβλίο χημείας της α΄ λυκείου.

Κεφάλαιο 2 : Περιοδικός Πίνακας - Δεσμοί	
2.1 Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων.	• Ένα απλό μοντέλο για το άτομο. • Κατανομή ηλεκτρονίων σε στιβάδες.
2.2 Κατάταξη των στοιχείων (Περιοδικός Πίνακας). Χρησιμότητα του περιοδικού πίνακα.	• Περιοδικός Πίνακας των στοιχείων. • Οι ομάδες, οι περίοδοι και τα κοινά χαρακτηριστικά τους. • Η χρησιμότητα του περιοδικού πίνακα.
2.3 Γενικά για το χημικό δεσμό - Παράγοντες που καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά του ατόμου. Είδη χημικών δεσμών (ιοντικός - ομοιοπολικός).	• Τι είναι ο χημικός δεσμός; Πότε και γιατί δημιουργείται; • Παράγοντες που καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά των ατόμων. • Ηλεκτρόνια σθένους. • Ατομική ακτίνα (το μέγεθος του ατόμου). • Είδη χημικών δεσμών (ιοντικός και ομοιοπολικός).
2.4 Η γλώσσα της χημείας - Αριθμός οξείδωσης- Γραφή χημικών τύπων και εισαγωγή στην ονοματολογία των ενώσεων.	

4. Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος. Χημεία Γ΄ Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών & Σπουδών Υγείας, 2021.

Πίνακας 4.4: Παρουσίαση μελέτης των κεφαλαίων των δεσμών που προτείνεται στο σχολικό βιβλίο χημείας της γ΄ λυκείου (τεύχος β΄).

<i>ΤΕΥΧΟΣ Β΄</i>	
Κεφάλαιο 6 : Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και περιοδικός πίνακας	
6.1 Τροχιακό - κβαντικοί αριθμοί.	• Τροχιακό. • Κβαντικοί αριθμοί. • Γραφική απεικόνιση ατομικών τροχιακών.
6.2 Αρχές δόμησης πολυηλεκτρονικών ατόμων.	• Απαγορευτική αρχή του Pauli. • Αρχή ελάχιστης ενέργειας. • Κανόνας του Hund.
6.3 Δομή περιοδικού πίνακα (τομείς s, p, d, f) - στοιχεία μετάπτωσης.	• Δομή του περιοδικού πίνακα σε σχέση με την ηλεκτρονιακή δόμηση των ατόμων. • Τομείς του περιοδικού πίνακα. • Περιοδική τάση των στοιχείων. • Στοιχεία μετάπτωσης.
6.4 Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων.	• Ατομική ακτίνα - ενέργεια ιοντισμού – ηλεκτρονιοσυγγένεια.
6.5 Ηλεκτρονιακοί τύποι - σχήματα μορίων.	• Ηλεκτρονιακοί τύποι κατά Lewis. • Κανόνες για τη γραφή των τύπων κατά Lewis. • Σχήματα μορίων - Θεωρία VSEPR (βέσπερ). • Αποκλίσεις από τα κανονικά σχήματα.

Κεφάλαιο 7 : Οργανική Χημεία	
7.1 Δομή οργανικών ενώσεων - διπλός και τριπλός δεσμός - επαγωγικό φαινόμενο.	• Θεωρία δεσμού σθένους (Valence bond theory). • Δεσμοί σ (σίγμα) και δεσμοί π (πι). • Παραδείγματα σχηματισμού μορίων. • Υβριδισμός. • Επαγωγικό φαινόμενο.
7.2 Στερεοϊσομέρεια.	
7.3 Κατηγορίες οργανικών αντιδράσεων και μερικοί μηχανισμοί οργανικών αντιδράσεων.	
7.4 Οργανικές συνθέσεις – Διακρίσεις.	

4.7.2. Συγκριτική ανάλυση/αντιπαραβολή των παραπάνω βιβλίων

Στη συνέχεια, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, θα γίνει και μια συγκριτική ανάλυση/αντιπαραβολή των βιβλίων που παρουσιάστηκαν παραπάνω με βάση τα 17 «σημεία» στα οποία στηρίχθηκε και η σύγκριση που έγινε μεταξύ Atkins και Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας. Στην παρακάτω ανάλυση θα χρησιμοποιηθούν οι αριθμοί των βιβλίων όπως παρουσιάζονται παραπάνω. Στο σύνολο των βιβλίων παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές αλλά και ομοιότητες:

1. Ως προς την σειρά παρουσίασης των ενδομοριακών δεσμών.

Σε όλα τα βιβλία πρώτα εισάγεται η έννοια του ιοντικού δεσμού και μετά του ομοιοπολικού δεσμού. Το **βιβλίο 4** (χημεία γ' λυκείου), δεν μελετά τους παραπάνω δεσμούς διότι μελετώνται στο **βιβλίο 3** (χημεία α' λυκείου).

2. Ως προς το αν και πώς αναφέρεται ο μεταλλικός δεσμός.

Για την περίπτωση της παρουσίασης του μεταλλικού δεσμού εντοπίστηκαν διαφορές κατά τη σύγκριση των βιβλίων. Αυτές ήταν η θέση που επέλεγε ο κάθε συγγραφέας να παρουσιάσει τον δεσμό αλλά και στο πώς τον περιέγραφε. Στο **βιβλίο 3** ο μεταλλικός δεσμός εντοπίστηκε ως απλή αναφορά χωρίς να γίνει αναλυτική περιγραφή του, ενώ στο **βιβλίο 4** δεν έγινε καμία αναφορά. Στα **βιβλία 1 & 2** γίνεται

εκτενής αναφορά στον μεταλλικό δεσμό. Στο **βιβλίο 1** περιγράφεται πρώτα ο μεταλλικός δεσμός και κατόπιν ακολουθεί ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός, αντίθετα στο **βιβλίο 2** ο ιοντικός και κατόπιν ο ομοιοπολικός δεσμός προηγούνται του μεταλλικού δεσμού.

3. Ως προς το εάν αναφέρεται ή όχι ο ημιπολικός δεσμός.

Στο **βιβλίο 1** γίνεται μόνο απλή αναφορά στην έννοια του ημιπολικού δεσμού χωρίς περαιτέρω ανάλυση. Στο **βιβλίο 2** δεν γίνεται καθόλου αναφορά στον ημιπολικό δεσμό. Στο **βιβλίο 3** δίνεται μια σύντομη περιγραφή του δεσμού αυτού στην ίδια ενότητα που παρουσιάζεται και ο ομοιοπολικός δεσμός. Στο **βιβλίο 4** ο ημιπολικός ή δοτικός δεσμός παρουσιάζεται με τη βοήθεια ενός παραδείγματος και καταγράφεται ως μια περίπτωση ομοιοπολικού δεσμού.

4. Ως προς το εάν αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη ώστε να εντοπιστεί εάν και ποια βιβλία αναφέρουν την ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών και ποια τους μελετούν σαν ξεχωριστούς και ανεξάρτητους δεσμούς. Από το σύνολο των βιβλίων, παρατηρήθηκε ότι τα **βιβλία 1 & 2** εντοπίζουν αυτή τη σύνδεση μεταξύ των δεσμών και την παρουσιάζουν αναλυτικά. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας κυρίως την έννοια της ηλεκτραρνητικότητας. Το **βιβλίο 3** αναφέρεται με συντομία στη συνέχεια μεταξύ ιοντικού και ομοιοπολικού δεσμού, με τη χρήση ενός σχήματος στο οποίο αναφέρει ότι: «Ο πολικός ομοιοπολικός δεσμός αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ του μη πολικού και του ιοντικού δεσμού». Επίσης στο δεξιό πλαίσιο του βιβλίου αναφέρεται ότι: «Οι καθαρά ομοιοπολικοί και καθαρά ιοντικοί δεσμοί είναι ακραίες περιπτώσεις. Οι περισσότεροι δεσμοί είναι ενδιάμεσου χαρακτήρα» και «Η πόλωση ενός ομοιοπολικού δεσμού υποδηλώνει την ύπαρξη ιοντικού χαρακτήρα στον ομοιοπολικό δεσμό». Τέλος το **βιβλίο 4** δεν μελετά τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό και επομένως δεν αναφέρεται και στην ύπαρξη συνέχειας μεταξύ αυτών.

5. Ως προς τον τρόπο περιγραφής της ηλεκτραρνητικότητας και της πολικότητας των δεσμών.

Μελετήθηκαν επίσης τα βιβλία ως προς το πώς αλλά και σε ποιο σημείο εισάγουν την έννοια της ηλεκτραρνητικότητας. Ερευνήθηκε με ποιες έννοιες τη συνδέουν και πώς η ηλεκτραρνητικότητα εντάσσεται στον χημικό δεσμό. Στο **βιβλίο 1** η

ηλεκτραρνητικότητα εισάγεται μετά τη μελέτη των δεσμών (μεταλλικού, ιοντικού και ομοιοπολικού) στην ενότητα πολικότητα δεσμού. Αναφέρει ότι η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να συμπεράνουν αν ένας δεσμός θα είναι ιοντικός ή ομοιοπολικός και να μπορέσουν να δουν τους δύο αυτούς δεσμούς όχι ως δύο ακραίες περιπτώσεις αλλά ως μια «συνέχεια». Στο **βιβλίο 2** η ηλεκτραρνητικότητα και η πολικότητα δεσμού εισάγονται ως ξεχωριστή ενότητα μετά τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό και πριν από τον μεταλλικό δεσμό. Σε αυτή την περίπτωση, οι παραπάνω έννοιες χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν τους πολικούς ομοιοπολικούς δεσμούς, τον μερικό ιοντικό χαρακτήρα, αλλά και τη συνέχεια μεταξύ των δεσμών. Στο **βιβλίο 3** η ηλεκτραρνητικότητα εισάγεται μετά τον ιοντικό δεσμό κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού. Γίνεται έτσι διάκριση μεταξύ πολικού και μη πολικού δεσμού, λόγω της διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των ατόμων των στοιχείων. Αναφέρεται επίσης και στο ποσοστό ιοντικού χαρακτήρα που εμφανίζεται σε έναν ομοιοπολικό δεσμό λόγω πόλωσης. Στο **βιβλίο 4** η ηλεκτραρνητικότητα αναφέρεται στο κεφάλαιο του περιοδικού πίνακα. Η μεταβολή της ηλεκτραρνητικότητας στον περιοδικό πίνακα συγκρίνεται με την μεταβολή της ενέργειας πρώτου ιοντισμού και με την μεταβολή της ηλεκτρονιοσυγγένειας. Επίσης γίνεται μια σύγκριση της έννοιας της ηλεκτραρνητικότητας σε σχέση με την ενέργεια πρώτου ιοντισμού και την ηλεκτρονιοσυγγένεια.

6. Ως προς την αναφορά στον κανόνα της οκτάδας.

Η επόμενη έρευνα που ακολουθήθηκε, αφορούσε τον τρόπο παρουσίασης του κανόνα της οκτάδας. Ο κανόνας της οκτάδας συνήθως χρησιμοποιείται ως μια αιτία σχηματισμού των δεσμών. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο κανόνας της οκτάδας δεν αποτελεί επεξήγηση των δεσμών αλλά μια κατευθυντήρια οδηγία.

Το **βιβλίο 1** αναφέρει ότι: «οι μαθητές μπορεί να αναπτύξουν λανθασμένες ιδέες για τον κανόνα της οκτάδας, ότι είναι μια “αιτία” για τον σχηματισμό δεσμού». Επίσης αναφέρει ότι: «αφήνουμε τους μαθητές να αναπτύσσουν ιδέες του χημικού δεσμού, οι οποίες σχετίζονται με μυστικιστικές αντιλήψεις των ατόμων που αναζητούν ενεργά να γεμίσουν τις στοιβάδες των ηλεκτρονίων τους ή να αποκτήσουν μυστηριώδεις αριθμούς ηλεκτρονίων». Στο **βιβλίο 2** δίνεται ο ορισμός του κανόνα της οκτάδας (στην ενότητα του ιοντικού δεσμού). Αναφέρονται δομές Lewis που αποτελούν εξαιρέσεις του παραπάνω κανόνα και γενικά αναφέρεται ότι ο κανόνας της οκτάδας δεν αποτελεί την μόνη επεξήγηση για τον σχηματισμό των δεσμών. Το **βιβλίο 3** διατυπώνει τον κανόνα

της οκτάδας (τόσο στην ενότητα των ηλεκτρονίων σθένους, όσο και σε αυτή του ιοντικού δεσμού). Αναφέρει ότι ο κανόνας της οκτάδας αποτελεί την αιτία σχηματισμού των δεσμών (ομοιοπολικού και ιοντικού) και ότι όλα τα άτομα θέλουν να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου με συμπληρωμένη την εξωτερική τους στοιβάδα. Τέλος στο **βιβλίο 4** ο κανόνας της οκτάδας αναφέρεται στην παράγραφο: «Ηλεκτρονιακοί τύποι – Σχήματα μορίων».

7. Ως προς το εάν παρουσιάζονται τα ενεργειακά διαγράμματα του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού.

Στο **βιβλίο 1** δεν παρουσιάζονται καθόλου ενεργειακά διαγράμματα. Στα **βιβλία 2 & 3** παρουσιάζεται ενεργειακό διάγραμμα τόσο του ιοντικού όσο και του ομοιοπολικού δεσμού. Τέλος στο **βιβλίο 4** παρουσιάζεται ενεργειακό διάγραμμα μόνο για τον ομοιοπολικό δεσμό.

8. Ως προς την αναφορά στην κρυσταλλική και στη μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα. Την αναφορά στις δυνάμεις Coulomb, στην ηλεκτροστατική φύση, στα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων και στις δομές Lewis.

Κρυσταλλική και μοριακή δομή:

Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού, η κρυσταλλική δομή των ιοντικών ουσιών αναφέρεται στα **βιβλία 1 & 3**. Επίσης κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού, η μοριακή δομή των ομοιοπολικών ουσιών αναφέρεται στα ίδια βιβλία.

Δυνάμεις Coulomb:

Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού, αναφορά στην ύπαρξη δυνάμεων Coulomb γίνεται στα **βιβλία 2 & 3**. Κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού σε κανένα βιβλίο δεν γίνεται αφορά στις δυνάμεις Coulomb.

Ηλεκτροστατική φύση:

Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού η ηλεκτροστατική φύση του δεσμού περιγράφεται στα **βιβλία 1, 2 & 3**.

Δομές Lewis:

Κατά τη μελέτη του ιοντικού δεσμού έγινε αναφορά στις δομές Lewis στα **βιβλία 2 & 4**. Η αναφορά στις δομές Lewis κατά τη μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού γίνεται στα **βιβλία 2, 3 & 4**.

Κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων:

Κατά τη μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού σε όλα τα βιβλία γίνεται αναφορά σε ύπαρξη κοινών ζευγών ηλεκτρονίων κατά τον σχηματισμό του δεσμού.

9. Ως προς την αναφορά στις ιδιότητες των ουσιών: ατομική ακτίνα, ενέργεια ιοντισμού, ηλεκτρονιακή συγγένεια και ενέργεια πλέγματος.

Ατομική ακτίνα (μέγεθος ατόμου)

Αναφορά στην ατομική ακτίνα γίνεται στα **βιβλία 2, 3 & 4**.

Ενέργεια ιοντισμού και ηλεκτρονική συγγένεια.

Κατά την περιγραφή του ιοντικού δεσμού, αναφορά στην ενέργεια ιοντισμού και στην ηλεκτροσυγγένεια γίνεται στο **βιβλίο 2**. Στο **βιβλίο 4** η ενέργεια ιοντισμού και η ηλεκτροσυγγένεια μελετώνται στην ενότητα: «Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων». Τέλος κατά τη μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού, σε κανένα βιβλίο δεν γίνεται αναφορά στις δύο αυτές ιδιότητες.

Ενέργεια πλέγματος

Η αναφορά στην ενέργεια (ενθαλπία) πλέγματος γίνεται μόνο στο **βιβλίο 2**, κατά την περιγραφή του ιοντικού δεσμού.

10. Ως προς την αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους (VB theory) και τη θεωρία των μοριακών τροχιακών (MO theory).

Αναφορά στη θεωρία δεσμού σθένους γίνεται στα **βιβλία 2 & 4**, ενώ αναφορά στη θεωρία των μοριακών τροχιακών γίνεται μόνο στο **βιβλίο 2**.

11. Ως προς την αναφορά στην έννοια του υβριδισμού (δημιουργία υβριδικών τροχιακών/γωνίες δεσμών).

Αναφορά στην έννοια του υβριδισμού γίνεται στα **βιβλία 2 & 4**.

12. Ως προς την αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau).

Μόνο στο *βιβλίο 4* γίνεται αναφορά στην αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης.

13. Ως προς τον τρόπο περιγραφής του απλού, διπλού και τριπλού ομοιοπολικού δεσμού.

Ο απλός, διπλός και τριπλός ομοιοπολικός δεσμός παρουσιάζονται στα *βιβλία 2 & 3* δίνοντας και τα κατάλληλα παραδείγματα.

14. Ως προς την αναφορά και παρουσίαση των τροχιακών s, p, d, f.

Αναφορά στα τροχιακά s, p, d, f καθώς και τα σχήματα αυτών γίνεται στα *βιβλία 2 & 4*.

15. Ως προς το εάν γίνεται αναφορά στη θεωρία VSEPR.

Αναφορά στη θεωρία VSEPR γίνεται στα *βιβλία 2 & 4*. Στο βιβλίο 2 γίνεται μια πιο αναλυτική περιγραφή της θεωρίας VSEPR.

16. Ως προς το εάν παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των δεσμών «σ» και του «π».

Αναφορά στον τρόπο δημιουργίας των δεσμών «σ» και του «π» γίνεται στα *βιβλία 2 & 4*. Στο βιβλίο 2 περιγράφονται οι δεσμοί «σ» και «π» στην περίπτωση του αιθανίου, του αιθενίου και του αιθινίου καθώς και οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ των δεσμών.

17. Ως προς το εάν παρουσιάζονται οι έννοιες της τάξης δεσμού και του συντονισμού σε ένα μόριο.

Μόνο στο *βιβλίο 2* γίνεται αναφορά στην έννοια του συντονισμού (εκτοπισμός δεσμικού ζεύγους ηλεκτρονίων) αλλά και στην έννοια της τάξης δεσμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΜΕΤΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

5.1. Εισαγωγή

Η μεταγνώση αναφέρεται στη γνώση που έχουν οι άνθρωποι σχετικά με τις δικές τους γνωστικές λειτουργίες (Flavell, 1979), καθιστώντας τους αυτόνομους στη σκέψη και τη δράση και εξοπλίζοντάς τους με δεξιότητες όπως η σκέψη για το τι ξέρουν, την αξιολόγηση των γνώσεών τους και την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η μεταγνώση μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευόμενους να αποκτήσουν τον έλεγχο της μάθησης καθώς διαβάζουν, γράφουν και λύνουν προβλήματα στην τάξη και με αυτόν τον τρόπο παρακολουθούν τη δική τους πρόοδο. Η μεταγνώση συνήθως προηγείται και ακολουθεί η γνώση, με τα δύο να είναι στενά αλληλένδετα.

Το μοντέλο του Flavell για τη μεταγνώση, διακρίνει τέσσερις τάξεις φαινομένων και των διασχέσεων τους: (α) **μεταγνωστική γνώση** (metacognitive knowledge, MCK), (β) **μεταγνωστικές εμπειρίες** (metacognitive experiences, MCE), (γ) **έργα και στόχοι** (tasks and goals, T & G), και (δ) **στρατηγικές ή ενέργειες** (strategies or actions, S/A).

Η μεταγνωστική γνώση (MCK) αναφέρεται σε όλα τα στοιχεία, παράγοντες και μεταβλητές που εμπλέκονται σε κάθε γνωστικό εγχείρημα και είναι δυνατόν να το επηρεάσουν, όπως τα πρόσωπα, δηλαδή οι λύτες, τα έργα, δηλαδή τα υπό επίλυση προβλήματα και οι στρατηγικές ή ενέργειες. Αναφέρεται δηλαδή στην αποθηκευμένη γνώση ενός ατόμου, τις πεποιθήσεις του σχετικά με τη φύση του εαυτού του αλλά και των άλλων ατόμων, τις ενέργειές του και την πορεία που θα ακολουθήσει υπό διάφορες συνθήκες, δηλαδή ποιες γνωστικές στρατηγικές θα επιλέξει για να πετύχει τους στόχους και ποιες μεταγνωστικές στρατηγικές θα χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο της προόδου των γνωστικών λειτουργιών.

Οι μεταγνωστικές εμπειρίες (MCE) αφορούν ένα σύνολο στοιχείων, αισθημάτων και συναισθημάτων, που μπορεί να είναι σύντομης ή μακράς διάρκειας και να λάβουν χώρα οποιαδήποτε στιγμή πριν ή μετά ή κατά τη διάρκεια του εγχειρήματος. Τέτοια

είναι αισθήματα οικειότητας, κατανόησης, χρονικών απαιτήσεων, δυσκολίας, ευκολίας, ικανοποίησης, χαράς, λύπης, θυμού για τυχόν απροσδόκητους παράγοντες. Οι μεταγνωστικές εμπειρίες είναι οι συνειδητές εμπειρίες όσον αφορά σε γνωστικούς στόχους, γνωστικές δραστηριότητες και/ή η γνώση μεταγνωστικών διεργασιών ή με πιο απλά λόγια αυτό που βιώνει ένα άτομο κατά την εμπλοκή του σε μια γνωστική προσπάθεια. Ο ρόλος τους θεωρείται πολύ σημαντικός για την αυτορρύθμιση του ατόμου επειδή αντικατοπτρίζουν τις γνωστικές και θυμικές αντιδράσεις του στην τρέχουσα κατάσταση, καθώς επίσης και γενικά χαρακτηριστικά της προσωπικότητάς του. Όσον αφορά στη λειτουργία τους, αναφέρεται ότι λειτουργούν σε ένα εξειδικευμένο επίπεδο, σε σχέση με τον προς επίτευξη στόχο, αλλά επίσης επηρεάζονται από το θυμικό του και τις πιο γενικές γνωστικές ικανότητές του ατόμου (Θεοδοσίου & Παπαϊωάννου, 2006).

Τα έργα και οι στόχοι (T & G) αναφέρονται στην ενημερότητα που διαθέτει το άτομο για το πρόβλημα σε σχέση με τις γνωστικές λειτουργίες, αλλά και τις μεταγνωστικές λειτουργίες, δηλαδή ένα σύνολο γνώσεων και εμπειριών που διαθέτει το άτομο για τη γνωστική του συμπεριφορά. Αποκτάται με την εμπειρία και μέσω συγκρίσεων που συνειδητά ή ασυνειδητά κάνει το ίδιο το υποκείμενο (π.χ. ξέρω ότι είναι πιο εύκολο να συγκρατήσω το νόημα ενός κειμένου κι όχι να το μάθω απ' έξω / ξέρω ότι ένα πρόβλημα μαθηματικών δεν θα το διαβάσω με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο θα διαβάσω ένα αφηγηματικό κείμενο).

Οι στρατηγικές ή οι ενέργειες (S/A) είναι η επίγνωση του ατόμου για τις μεθόδους που θα ενεργοποιήσει και τις πράξεις που θα εκτελέσει στο εγχείρημα της επίλυσης του προβλήματος. Αυτού του είδους η μεταγνώση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αυτονομία και αφορά τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους που πρέπει να ακολουθήσει ένα άτομο για να επιτύχει (τους γνωστικούς) του στόχους (π.χ. να ξέρω τι πρέπει να κάνω για να διαβάσω με ταχύτητα ένα κείμενο, για να συντάξω μια περίληψη, για να κάνω λίγα λάθη στην ορθογραφία κ.λπ.).

5.2. Η έρευνα

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε τη σχολική χρονιά 2012 – 2013 από καθηγητές που δίδασκαν σε Γενικά Λύκεια, δημοσίων σχολείων, τριών επαρχιακών πόλεων. Στην έρευνα συμμετείχαν μαθητές α' λυκείου.

Τα τμήματα της α' λυκείου χωρίστηκαν σε ομάδες «ελέγχου» και «πειραματικές» ομάδες, ο διαχωρισμός αυτός έγινε από τους καθηγητές οι οποίοι δίδασκαν το μάθημα της χημείας στα τμήματα αυτά (βλ. κεφάλαιο 3, ενότητα 3.3).

Στις ομάδες «ελέγχου» διδάχθηκε ο χημικός δεσμός χρησιμοποιώντας το σχολικό βιβλίο (Λιοδάκης Στέλιος, Γάκης Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Δημήτρης, Θεοδωρόπουλος Παναγιώτης, Κάλλης Αναστάσιος. Χημεία Α' Λυκείου Γενικής Παιδείας, 2012), σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. Το βιβλίο αυτό είχε παραχθεί από το πρώην «Παιδαγωγικό Ινστιτούτο» (το σημερινό: «Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής») και διδάσκεται Πανελλαδικά σε όλα τα σχολεία.

Στις «πειραματικές» ομάδες ακολουθήθηκε για τη διδασκαλία των χημικών δεσμών ένα «εκπαιδευτικό υλικό». Το υλικό αυτό αν και ενσωμάτωσε αρκετά στοιχεία από το σχολικό βιβλίο, διέφερε σε αρκετά σημεία από αυτό (περιείχε περισσότερες και επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με το σχολικό βιβλίο και η δομή / εμφάνισή του ήταν διαφορετική) (βλ. κεφάλαιο 3, ενότητα 3.3).

Σε όλες τις ομάδες «ελέγχου» και «πειραματικές» διδάχθηκαν οι ίδιες ερωτήσεις, ασκήσεις και προβλήματα τα οποία και περιέχονται στο σχολικό βιβλίο.

Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας της ενότητας του χημικού δεσμού οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο για το χημικό δεσμό.

Επίσης το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 το ίδιο ερωτηματολόγιο δόθηκε και σε πρωτοετείς φοιτητές δύο πανεπιστημιακών τμημάτων.

5.3. Οι απαντήσεις μαθητών σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις

Παρακάτω παραθέτουμε τα ευρήματα από τις απαντήσεις που έδωσαν συνολικά 66 μαθητές ($N = 66$) σε δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις αυτές αποτελούσαν τμήμα ενός ερωτηματολογίου για το χημικό δεσμό. Επίσης και οι 66 μαθητές ήταν μαθητές **ομάδων «ελέγχου»**.

Οι μαθητές αυτοί προέρχονταν από τρία επαρχιακά σχολεία (γενικά λύκεια) και φοιτούσαν στην α' λυκείου. Οι μαθητές είχαν διασχθεί προηγουμένως το κεφάλαιο των χημικών δεσμών, από τον καθηγητή που δίδασκε το μάθημα της χημείας στην τάξη τους. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ακολουθήθηκε το αναλυτικό πρόγραμμα του Υπουργείου Παιδείας και οι μαθητές όλων των τμημάτων (τέσσερα συνολικά τμήματα, τριών τάξεων της α' λυκείου, που αποτελούσαν τις ομάδες ελέγχου), διδάχθηκαν από

το σχολικό βιβλίο χημείας της α΄ τάξης του λυκείου. Οι μαθητές αυθόρμητα και κριτικά εξέφρασαν τις απόψεις τους σχετικά με τους χημικούς δεσμούς (ιοντικό και ομοιοπολικό).

5.3.1. Θέματα Ηθικής Δεοντολογίας

Οι μαθητές απάντησαν στο ερωτηματολόγιο ως μέρος του μαθήματος χημείας, δηλαδή το ερωτηματολόγιο ήταν υποχρεωτικό για όλους τους μαθητές την ημέρα της διεξαγωγής του. Οι καθηγητές, που συμμετείχαν στην έρευνα, έκριναν ότι αυτό θα ήταν μια χρήσιμη «εξάσκηση» στο κεφάλαιο των χημικών δεσμών. Έτσι συμπεριλήφθηκε στα μαθήματα και οι μαθητές έλαβαν ανατροφοδότηση σχετικά με τις απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο. Επιπλέον, οι διευθυντές των σχολείων έλαβαν γνώση του στόχου της μελέτης και της θεσμικής δεοντολογίας. Ο καθηγητής είχαν γνωστοποιήσει στους μαθητές το γεγονός ότι οι ερωτήσεις αποσκοπούσαν στη διερεύνηση των απόψεών τους σχετικά με τις διδαχθείσες έννοιες. Οι μαθητές έπρεπε να σημειώσουν τα ονόματά τους στα απαντητικά φύλλα των ερωτήσεων, έτσι ώστε να ενθαρρυνθεί η ουσιαστική συμμετοχή τους. Ωστόσο ούτε τα ονόματά τους, ούτε οι επιδόσεις τους αποκαλύφθηκαν σε τρίτους και η επίδοσή τους στο ερωτηματολόγιο δεν συνέβαλε στη βαθμολογία τους.

5.3.2. Μέθοδος ανάλυσης

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις περιελάμβανε δύο στάδια: (i) μια γενική κατηγοριοποίηση των απαντήσεων και (ii) μία ειδική ταξινόμηση σύμφωνα με τις τέσσερις κατηγορίες της μεταγνώσης του Flavell.

Η γενική κατηγοριοποίηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μιας απαγωγικής μεθοδολογίας. Ο πρώτος συγγραφέας (Γεώργιος Τσαπαρλής) πραγματοποίησε αρχικά μια κατηγοριοποίηση των απαντήσεων και στη συνέχεια οι κατηγορίες ελέγχθηκαν και συμφωνήθηκαν από τους άλλους δύο συγγραφείς (Ελένη Παππά και Bill Byers). Καταγράφηκε η συχνότητα των απαντήσεων σε κάθε κατηγορία. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση σύμφωνα με τον μεταγνωστικό χαρακτήρα από τη δεύτερη συγγραφέα (Ελένη Παππά), η οποία είχε εμπειρία σε αυτό το είδος αξιολόγησης (Pappa & Tsaparlis, 2011), πριν ελεγχθεί από τον πρώτο συγγραφέα. Η συμφωνία ήταν της τάξης του 72% και οι αποκλίσεις επιλύθηκαν με συζήτηση και συναίνεση.

5.4. Τα αποτελέσματα των μεταγνωστικών ερωτήσεων και των απόψεων των μαθητών σχετικά με το χημικό δεσμό

Στα παρακάτω αποτελέσματα, οι απαντήσεις των μαθητών ταξινομούνται σύμφωνα με τον μεταγνωστικό τους χαρακτήρα: (α) μεταγνωστική γνώση (MCK), (β) μεταγνωστικές εμπειρίες (MCE), (γ) έργα και στόχοι (T & G), και (δ) στρατηγικές ή ενέργειες (S/A). Παρατηρείται ότι οι περισσότερες απαντήσεις ανήκουν στην κατηγορία MCK, και ακολουθεί η κατηγορία MCE. Λίγες απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν ως T & G ή S /A.

Μέρος Β του τεστ, Ερώτηση 4: Ποιος δεσμός, ο ιοντικός ή ο ομοιοπολικός, έχει προκαλέσει περισσότερες δυσκολίες για την κατανόησή του; Δηλώστε επίσης την αιτιολόγησή σας.

Ιοντικός δεσμός (IB): 14/66 (21,2%) / Ομοιοπολικός δεσμός (CB): 30/66 (45,5%) / Και οι δύο ήταν εξίσου δύσκολοι: 3/66 (4,5%) / Κανένας (και οι δύο ήταν εύκολοι): 8/66 (12,1%) / Χωρίς απάντηση: 11/66 (16,7%).

Σχεδόν το ήμισυ των μαθητών (45,5%) θεωρούσαν τον ομοιοπολικό δεσμό ως δυσκολότερο και το 21,2% να αναγνωρίζει τον ιοντικό δεσμό ως δυσκολότερο. Κατά συνέπεια, οι λόγοι που δόθηκαν για τη δυσκολία του CB ήταν περισσότεροι. Ο Πίνακας 5.1 αναφέρει τους λόγους των μαθητών για τις αντιληπτές δυσκολίες με τον IB και τον CB και τις ταξινομεί ανάλογα με τον μεταγνωστικό τους χαρακτήρα.

Στις απαντήσεις των μαθητών εντοπίστηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες (τρεις (3) στην περίπτωση του ιοντικού και τέσσερις (4) στην περίπτωση του ομοιοπολικού δεσμού):

Για τη δυσκολία των μαθητών με τον ιοντικό δεσμό: γενικοί λόγοι, δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και αντικειμένων, καμία εξήγηση / ταυτολογίες.

Για τη δυσκολία των μαθητών με τον ομοιοπολικό δεσμό: γενικοί λόγοι, δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και αντικειμένων, ειδικοί λόγοι, καμία εξήγηση / ταυτολογίες.

Σημειώστε ότι, το παραδοσιακό κείμενο (του σχολικού βιβλίου χημείας α' λυκείου) που χρησιμοποιείται στην **ομάδα «ελέγχου»** μας παρουσιάζει πρώτα τον ιοντικό δεσμό (IB) και στη συνέχεια μελετά τον ομοιοπολικό δεσμό (CB) (πολικό και μη πολικό) και δεν θεωρεί τον ομοιοπολικό - ιοντικό δεσμό ως μια συνέχεια.

Πίνακας 5.1: Τα επιχειρήματα των μαθητών για την αντιληπτή δυσκολία με τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό.

Λόγοι για δυσκολίες με τον ιοντικό δεσμό	Λόγοι για δυσκολίες με τον ομοιοπολικό δεσμό
Γενικοί λόγοι	Γενικοί λόγοι
• Έχει περισσότερα χαρακτηριστικά από τον ομοιοπολικό (MCK). • Περιέχονται δυσκολότεροι όροι και γενικά περισσότερες λεπτομέρειες (MCK). • Έχει περισσότερες πληροφορίες (MCK) και σε κάποια σημεία του κειμένου μπερδεύονται (MCE) / έχει περισσότερους όρους (MCK). • Δεν κατάλαβα το νόημά του (MCE). • Δεν έχω καταλάβει τη δομή του (MCK). • Περίπλοκη διαδικασία που οδηγεί στο τελικό αποτέλεσμα (S / A).	• Έχει περισσότερα χαρακτηριστικά (MCK) και πιστεύω πως άργησα να τον καταλάβω (MCE). • Έχει πολλές λεπτομέρειες και ασάφειες και επομένως ήταν δύσκολος στην κατανόησή του (MCK). • Είχαμε μόνο μια μέρα να διαβάσουμε και από το βιβλίο ήταν λίγο μπερδεμένα (MCE) / Με μπερδεψε αρκετά (MCE) . • Δεν τον κατάλαβα αρκετά (MCK). • Έχει τόσες πολλές ειδικές περιπτώσεις (MCK). • Γιατί έχει δύσκολη εφαρμογή (MCK). • Γιατί δεν είχε και πολλή θεωρία μέσα στο βιβλίο (S/A).
Δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και στοιχείων	Δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και στοιχείων
• Δυσκολία στη διάκριση των ανιόντων από τα κατιόντα, στην περίπτωση που ένα άτομο αποβάλλει ή προσλαμβάνει ηλεκτρόνια (T & G). • Δυσκολία στη συμπλήρωση της τελευταίας στοιβάδας (S / A).	• Είναι πιο περίπλοκος γιατί πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο Lewis (MCE) / Άργησα να καταλάβω τις δομές Lewis (MCE) / Δεν έχω καταλάβει τη δομή Lewis (MCE). • Τον διδαχτήκαμε δεύτερο και ενώ τον μελετούσα τον μπερδεύα κάποιες φορές με τον ιοντικό δεσμό (MCE). • Δεν μπόρεσα να καταλάβω πώς δίνουμε ή παίρνουμε ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (MCK). • Δυσκολία κατανόησης <u>του τρόπου ένωσης των μορίων</u> (sic) (T & G).

	• Μπερδεύω την αμοιβαία συνεισφορά, τα πολωμένα και τα δίπολα μόρια (MCE). • Γιατί έπρεπε να ενώσεις δύο άτομα (S/A). • Με δυσκόλεψε το πώς τον σχηματίζουμε σύμφωνα με τις δομές Lewis (MCK). • Εξαιτίας του κοινού ζεύγους ηλεκτρονίων (MCK).
	<i>Ειδικοί λόγοι</i>
	• Γιατί στον ιοντικό κάναμε δύο μαθήματα και τον κατανόησα πιο εύκολα (MCE). • Έχει περισσότερους και πιο δύσκολους όρους, όπως ο κανόνας της οκτάδας που δεν τον έχω καταλάβει καλά (MCE). • Ο λόγος είναι για τη λύση των ασκήσεων (T & G). • Δεν μπορούσα να καταλάβω τόσο εύκολα πώς μπορούν αν είναι ομώνυμα να έλκονται στον ομοιοπολικό (T & G). • Διότι, αν και έχουμε αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων, τα άτομα έλκονταν και έτσι [ο ομοιοπολικός δεσμός] γινόταν δυσκολότερος στην κατανόηση (MCK) / γιατί έχουμε αμοιβαία συνεισφορά e⁻ και δημιουργία κοινού ζεύγους (MCK) / με δυσκόλεψε να βρω αν έχουν κοινή συνεισφορά τα ηλεκτρόνια (MCK). • Γιατί καμιά φορά <u>χρειάζονται παραπάνω μόρια κάθε άτομου</u> (sic) (S/A)
Καμία εξήγηση / ταυτολογίες (πέντε φορές)	Καμία εξήγηση / ταυτολογίες (τέσσερις φορές)

Μέρος Β του τεστ, Ερώτηση 3: Να αναφέρετε 1 ή 2 δυσκολίες που αντιμετωπίσατε κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών.

Στην περίπτωση αυτή, οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν σε τέσσερις ομάδες:

- α) δυσκολίες που αφορούν τη δομή του κεφαλαίου των δεσμών,
- β) δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα,
- γ) γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας,
- δ) καμία απάντηση / ταυτολογίες.

Τα σχόλια / απαντήσεις των μαθητών (ανάλογα με την κατηγορία που ταξινομήθηκαν) παρουσιάζονται παρακάτω:

α) Δυσκολίες που αφορούν τη δομή του κεφαλαίου των δεσμών.

1. "Είναι κακογραμμένο και δεν καταλαβαίνω τι λέει" (MCE).
2. "Ήταν δύσκολα με πολλούς τύπους και δύσκολες λέξεις" (MCK).

β) Δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα.

1. "Μόνο μία δυσκολία αντιμετώπισα. Την πολικότητα στην οποία τα μόρια έλκουν ηλεκτρόνια του άλλου μορίου" (MCK).
2. "Μια δυσκολία που αντιμετώπισα στους δεσμούς, ήταν στο κομμάτι με την πολικότητα" (MCK).
3. "Στον ομοιοπολικό δεσμό έπρεπε να χαρακτηρίσουμε το μόριο πολωμένο, δίπολο, μη πολωμένο και ουδέτερο" (T & G).
4. "Με δυσκόλεψε λίγο ο ομοιοπολικός δεσμός γιατί δε μπορούσα να καταλάβω πώς δίνουμε ή παίρνουμε ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα" (T & G).
5. "Δυσκολεύτηκα στον ομοιοπολικό δεσμό να κατανοήσω πώς βρίσκονται τα ζεύγη μορίων (sic) και πώς ενώνονται αφού και τα δύο [άτομα] δεν είναι συμπληρωμένα" (MCK).
6. "Με δυσκόλεψε ο ομοιοπολικός δεσμός γιατί είχε πιο πολλά χαρακτηριστικά και επίσης ήταν λίγο πιο δυσνόητος" (MCE).
7. "Τα κριτήρια σχηματισμού του ομοιοπολικού δεσμού" (MCK).
8. "Δεν μπόρεσα να καταλάβω στους ομοιοπολικούς δεσμούς τη δομή Lewis, γιατί δεν μπόρεσα να καταλάβω πώς τη σχηματίζουμε" (MCE).
9. "Ο δεσμός Lewis" [προφανώς εννοεί «η δομή Lewis»] (MCK).
10. "Με δυσκόλεψε η ηλεκτραρνητικότητα των στοιχείων γιατί ήταν δύσκολη στην κατανόησή της" (MCE).
11. "Στην ηλεκτραρνητικότητα" (MCK).
12. "Στις στοιβάδες αντιμετώπισα πρόβλημα" (MCE).
13. "Με δυσκόλεψε ο σχηματισμός ηλεκτρονιακής δομής και ο ιοντικός δεσμός με τον «κανόνα της οκτάδας»" (MCK).
14. "Η ένωση των στοιχείων και πόσα ηλεκτρόνια έχει το κάθε στοιχείο" (T & G).
15. "Στον ιοντικό δεσμό, στο να μάθω για τα κατιόντα που «περιτριγυρίζονται» από έξι ανιόντα και το αντίστροφο" (MCK).

16. "Με δυσκόλεψε πιο πολύ να ξεχωρίζω τις ιδιότητες των ιόντων" (MCK).
17. "Μία δυσκολία που συνάντησα ήταν ότι όταν ένα χημικό στοιχείο διώχνει e^- και τα παίρνει ένα άλλο" (MCK).
18. "Η κατανόηση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων" (MCE).
19. "Η μεγαλύτερη δυσκολία μου ήταν να συγκρίνω τα δύο είδη δεσμών" (S/A).
20. "Μία δυσκολία ήταν να καταφέρω, να ξεχωρίσω, τις ιδιότητες των ιοντικών από των ομοιοπολικών ενώσεων" (S/A).

γ) Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας.

1. "Δεν συνάντησα καμία δυσκολία" (δέκα φορές) (MCK).
2. "Δεν δυσκολεύτηκα πουθενά γιατί με βοήθησε το μάθημα στο σχολείο και οι σημειώσεις στο τετράδιο" (MCK).
3. "Δεν αντιμετώπισα ιδιαίτερες δυσκολίες κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών" (MCK).
4. "Ήταν λίγο δύσκολα" (MCK).
5. "Δεν ήταν πολύ δύσκολα. Αν δώσεις προσοχή τα καταλαβαίνεις" (MCK).
6. "Δεν με δυσκόλεψε κάτι ιδιαίτερα (MCK). Το μόνο πράγμα που μου πήρε ώρα να διαβάσω ήταν τα χαρακτηριστικά των ιοντικών και των ομοιοπολικών δεσμών (MCE)".
7. "Η αλήθεια είναι ότι είναι εύκολο να τα ξεχωρίσεις (τους δύο δεσμούς) αν διαβάσεις αρκετά, κάτι που δεν έκανα. Πιστεύω πως με δυσκολεύουν οι «λεπτομέρειες» που πρέπει να τηρηθούν σε κάθε δεσμό" (MCK).
8. "Η μόνη δυσκολία που είχα ήταν στο να τους ξεχωρίζω (τον ιοντικό από τον ομοιοπολικό)" (MCK).
9. "Στον ιοντικό δεσμό" (τρεις φορές) (MCK).
10. "Δεν κατάλαβα πολύ καλά τον ιοντικό δεσμό" (MCK).
11. "Τη θεωρία του ιοντικού γιατί δεν τη διάβασα καλά" (MCK).
12. "Η μόνη δυσκολία ήταν όλος ο ομοιοπολικός δεσμός γιατί δεν τον κατάλαβα και πολύ καλά κατά την παράδοσή του" (MCK).
13. "Στην κατανόηση του ομοιοπολικού δεσμού" (MCK).
14. "Τον ομοιοπολικό δεσμό" (δύο φορές) (MCK).
15. "Δυσκολεύτηκα λιγάκι με την κατανόηση του ομοιοπολικού (MCE) και τον τρόπο με τον οποίο μπορώ εγώ να σχηματίσω τέτοιες ενώσεις (T & G)".
16. "Δύσκολο είναι όλο το κεφάλαιο" (MCE).

δ) Καμία απάντηση / ταυτολογίες.

Δεκαέξι (16) φορές

5.5. Συζήτηση των σχολίων / απαντήσεων των μαθητών

Ξεκινώντας το σχολιασμό των απαντήσεων των μαθητών του 3^{ου} ερωτήματος παρατηρούμε ότι ένας σημαντικός αριθμός των απαντήσεων των μαθητών, 16/66 (24,2%) ταξινομήθηκαν στην 4^η κατηγορία, δηλαδή οι μαθητές αυτοί ουσιαστικά δεν απάντησαν στο ερώτημα αυτό. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών οι οποίοι είναι οι λεγόμενοι «αδιάφοροι» μαθητές. Από τις υπόλοιπες τρεις κατηγορίες προκύπτει το συμπέρασμα ότι η δυσκολία των μαθητών έχει να κάνει κυρίως με τον ομοιοπολικό δεσμό (βλέπε ανωτέρω το ερώτημα 4). Αυτό οφείλεται στο ότι στο σχολικό βιβλίο (από το οποίο διδάχθηκαν οι παραπάνω μαθητές), οι δύο δεσμοί (ιοντικός και ομοιοπολικός) διδάσκονται ως εντελώς διαφορετικοί δεσμοί και όχι ως μια συνέχεια. Έτσι ο μαθητής δυσκολεύεται περισσότερο στην κατανόηση του ομοιοπολικού δεσμού στον οποίο εμφανίζονται περισσότερες έννοιες ή περισσότερες περιπτώσεις (π.χ. ηλεκτραρνητικότητα, πολωμένος δεσμός, μη πολωμένος κ.ά.).

Στην πρώτη κατηγορία (αφορά τη δομή του κεφαλαίου των δεσμών) κατατάσσονται οι απαντήσεις των 2 από τους 66 (3%) συνολικά μαθητών. Οι μαθητές αυτοί αναφέρουν ότι το κεφάλαιο των δεσμών είναι κακογραμμένο, δυσνόητο, με πολλούς τύπους και δύσκολες λέξεις.

Στη δεύτερη κατηγορία (δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα) κατατάσσονται οι απαντήσεις των 20 από τους 66 (30,3 %) συνολικά μαθητών. Εδώ οι δυσκολίες των μαθητών έχουν να κάνουν κυρίως με:

- i) την πολικότητα, το αναφέρουν 3 στους 66 μαθητές,
- ii) την ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων των στοιχείων, το αναφέρουν 3 στους 66 μαθητές,
- iii) την ηλεκτραρνητικότητα, το αναφέρουν 2 στους 66 μαθητές,
- iv) τις δομές Lewis, το αναφέρουν 2 στους 66 μαθητές,
- v) τον τρόπο σχηματισμού του ιοντικού δεσμού με μεταφορά ηλεκτρονίων, το αναφέρουν 2 στους 66 μαθητές,

- vi) ιόντα και ηλεκτροστατικές δυνάμεις, το αναφέρουν 3 στους 66 μαθητές,
- vii) σύγκριση / διάκριση του ομοιοπολικού και ιοντικού δεσμού, το αναφέρουν 2 στους 66 μαθητές,
- viii) διάφορες άλλες δυσκολίες με τον ομοιοπολικό δεσμό, το αναφέρουν 3 στους 66 μαθητές.

Τέλος στην τρίτη κατηγορία (γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας) κατατάσσονται οι απαντήσεις των υπολοίπων 28 από τους 66 (42,4 %) συνολικά μαθητών. Εδώ οι απαντήσεις των μαθητών έχουν ως εξής:

- i) 11 από τους 66 (16,7 %) συνολικά μαθητές απαντούν ότι δεν συνάντησαν καμιά δυσκολία,
- ii) 6 από τους 66 (9,1 %) συνολικά μαθητές απαντούν ότι γενικά δεν συνάντησαν ιδιαίτερες δυσκολίες (βλέπε τις απαντήσεις των μαθητών στην τρίτη κατηγορία, από 3 έως και 8),
- iii) 5 από τους 66 (7,6 %) συνολικά μαθητές απαντούν ότι δυσκολεύονται γενικά στον ιοντικό δεσμό (βλέπε τις απαντήσεις των μαθητών στην τρίτη κατηγορία, από 9 έως και 11),
- iv) 5 από τους 66 (7,6 %) συνολικά μαθητές απαντούν ότι δυσκολεύονται γενικά στον ομοιοπολικό δεσμό (βλέπε τις απαντήσεις των μαθητών στην τρίτη κατηγορία, από 12 έως και 15),
- v) τέλος ένας μαθητής (1,5 %) αναφέρει ότι τα βρήκε όλα δύσκολα!

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το κεφάλαιο των χημικών δεσμών αποτελεί κάτι πολύ δύσκολο για τους μαθητές της α΄ τάξης λυκείου (μόνο το 16,7 % το μαθητών δε συνάντησαν καμιά απολύτως δυσκολία). Αν αναζητήσουμε τους λόγους μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

1. Το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών προβλέπει να διδαχθεί το κεφάλαιο αυτό (μαζί με έναν σημαντικό αριθμό ερωτήσεων/ασκήσεων) μέσα σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα.
2. Ο μαθητής καλείται να κατανοήσει πολλές έννοιες και τις περισσότερες από αυτές στο συγκεκριμένο κεφάλαιο. Τις έννοιες αυτές είτε τις συναντά για πρώτη φορά, είτε ελάχιστα είχαν διδαχθεί στο γυμνάσιο (το μάθημα της χημείας διδάσκεται μόνο 1 ώρα στη β΄ και 1 ώρα στη γ΄ γυμνασίου). Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε την ηλεκτραρνητικότητα, την ηλεκτρονιακή

- κατανομή, πολικότητα, ανιόντα, κατιόντα, κανόνας των οκτώ, μοριακές ενώσεις, ιοντικές ενώσεις, διάταξη ιόντων σε κρυσταλλικό πλέγμα, κ.ά.
3. Τέλος να αναφέρουμε και τον τρόπο που διδάσκονται οι χημικοί δεσμοί (με βάση το αναλυτικό πρόγραμμα και το σχολικό εγχειρίδιο). Ο μαθητής διδάσκεται τους δύο δεσμούς (ιοντικό και ομοιοπολικό) ως δύο δεσμούς εντελώς διαφορετικούς μεταξύ τους και όχι ως μια συνέχεια. Μπορούν να δημιουργηθούν έτσι και αρκετές παρανοήσεις, π.χ. ηλεκτροστατικές δυνάμεις εμφανίζονται μόνο στον ιοντικό δεσμό ενώ στον ομοιοπολικό αυτού του είδους οι δυνάμεις είτε απουσιάζουν, είτε εμφανίζονται άλλου είδους δυνάμεις!

5.6. Οι απαντήσεις των φοιτητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις

Η ίδια γραπτή δοκιμασία (test) πραγματοποιήθηκε και με πρωτοετείς φοιτητές ($N = 73$) δύο σχολών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Τμήμα Χημείας και Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών). Οι πρωτοετείς φοιτητές των δύο σχολών αυθόρμητα και κριτικά εξέφρασαν τις απόψεις τους σχετικά με τους χημικούς δεσμούς (ιοντικό και ομοιοπολικό). Παρακάτω παραθέτουμε τα ευρήματα από τις απαντήσεις από το σύνολο των 73 φοιτητών (35 από το Τμήμα Χημείας και 38 από το Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών) στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις.

5.6.1. Θέματα Ηθικής Δεοντολογίας

Οι φοιτητές απάντησαν εθελοντικά στη γραπτή δοκιμασία. Ο διδάσκων καθηγητής γνωστοποίησε στους φοιτητές το γεγονός ότι οι ερωτήσεις αποσκοπούσαν στη διερεύνηση των απόψεών τους σχετικά με το χημικό δεσμό. Οι φοιτητές έπρεπε να δώσουν τα ονόματά τους όταν απάντησαν στις ερωτήσεις, για να ενθαρρύνουν την ουσιαστική συμμετοχή, ωστόσο ούτε τα ονόματά τους ούτε οι επιδόσεις τους αποκαλύφθηκαν σε τρίτους και οι απόψεις τους δεν συνέβαλαν στη βαθμολογία τους.

5.6.2. Μέθοδος ανάλυσης

Όπως και στην περίπτωση των μαθητών, η ανάλυση των απαντήσεων των φοιτητών στις ερωτήσεις περιελάμβανε δύο στάδια: (i) μια γενική κατηγοριοποίηση των

απαντήσεων και (ii) μία ειδική ταξινόμηση σύμφωνα με τις τέσσερις κατηγορίες της μεταγνώσης του Flavell.

5.7. Αποτελέσματα των μεταγνωστικών ερωτήσεων και των απόψεων των φοιτητών σχετικά με το χημικό δεσμό

Στα παρακάτω αποτελέσματα, οι απαντήσεις των φοιτητών ταξινομούνται σύμφωνα με τον μεταγνωστικό τους χαρακτήρα: (α) μεταγνωστική γνώση (MCK), (β) μεταγνωστικές εμπειρίες (MCE), (γ) έργα και στόχοι (T & G), και (δ) στρατηγικές ή ενέργειες (S/A). Παρατηρείται ότι οι περισσότερες απαντήσεις ανήκουν στην κατηγορία MCK, και ακολουθεί η κατηγορία MCE. Λίγες απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν ως T & G ή S / A.

Μέρος Β του τεστ, Ερώτηση 4: Ποιος δεσμός, ο ιοντικός ή ο ομοιοπολικός, έχει προκαλέσει περισσότερες δυσκολίες για την κατανόησή του; Δηλώστε επίσης την αιτιολόγησή σας.

Ιοντικός δεσμός (IB): 13/73 (17,8%) / Ομοιοπολικός δεσμός (CB): 40/73 (54,8%) / Και οι δύο ήταν εξίσου δύσκολοι: 6/73 (8,2%) / Κανένας (και οι δύο ήταν εύκολοι): 3/73 (04,1%) / Χωρίς απάντηση: 11/73 (15,1%).

Περισσότερο από το ήμισυ των φοιτητών (54,8%) θεωρούσαν τον ομοιοπολικό δεσμό ως δυσκολότερο και το 17,8% να αναγνωρίζει τον ιοντικό δεσμό ως δυσκολότερο. Κατά συνέπεια, οι λόγοι που δόθηκαν για τη δυσκολία του CB ήταν περισσότεροι. Ο Πίνακας 5.2 αναφέρει τους λόγους των φοιτητών για τις αντιληπτές δυσκολίες με τον IB και τον CB και τις ταξινομεί ανάλογα με τον μεταγνωστικό τους χαρακτήρα.

Στις απαντήσεις των φοιτητών εντοπίστηκαν οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες (τόσο στην περίπτωση του ιοντικού όσο και στην περίπτωση του ομοιοπολικού δεσμού):

Για τη δυσκολία των φοιτητών με τον ιοντικό δεσμό: γενικοί λόγοι, δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και αντικειμένων, ειδικοί λόγοι, καμία εξήγηση / ταυτολογίες.

Για τη δυσκολία των φοιτητών με τον ομοιοπολικό δεσμό: γενικοί λόγοι, δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και αντικειμένων, ειδικοί λόγοι, καμία εξήγηση / ταυτολογίες.

Πίνακας 5.2: Τα επιχειρήματα των φοιτητών για την αντιληπτή δυσκολία με τον ιοντικό και τον ομοιοπολικό δεσμό.

Λόγοι για δυσκολίες με τον ιοντικό δεσμό	Λόγοι για δυσκολίες με τον ομοιοπολικό δεσμό
Γενικοί λόγοι	Γενικοί λόγοι
• Είναι πιο περίπλοκος (MCK) / είναι δυσκολότερο στο να απεικονιστεί (MCK) / λόγω της δυσκολότερης έννοιας του (MCK). • Γιατί μερικές φορές δεν μπορούσα να τον διακρίνω (σε ορισμένες περιπτώσεις) (MCE) / Δεν τον διακρίνεις τόσο εύκολα όσο τον ομοιοπολικό (MCE). • Γιατί περιγράφεται με περισσότερες έννοιες (MCK). • Διότι δυσκολευόμουν να καταλάβω ανάμεσα <u>σε ποια μόρια</u> (sic) (T & G).	• Λόγω των περισσότερων κατηγοριών (πολικοί, μη πολικοί, ημιπολικοί) (MCK). • Λόγω της <u>θεωρητικότητας</u> της ύπαρξής του [«του αφηρημένου χαρακτήρα του;»] (MCK). • Γιατί χρειάζονται πολλές περισσότερες λεπτομέρειες για την πλήρη κατανόησή του (MCK). • Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου σε σύγκριση με τον ιοντικό δεσμό (MCK). • Ήταν λίγο πιο σύνθετη έννοια από τον ιοντικό (MCK) / Γιατί περιέχει όρους που δεν χρησιμοποιούνται στους ιοντικούς δεσμούς, οι οποίοι είναι πιο ξεκάθαροι (MCK). • Διότι ο ιοντικός είναι <u>εύκολα παρατηρήσιμος</u> (sic) (MCK).

Δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και στοιχείων	Δυσκολίες στην κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών και στοιχείων
• Στο σχηματισμό της δομής του κατά Lewis (S / A) • Λόγω των φορτίων (MCK)	• Δυσκολεύομαι να αναγνωρίσω πότε τα στοιχεία σχηματίζουν ομοιοπολικό δεσμό και πότε είναι πολωμένος ή όχι (MCE) / Γιατί έπρεπε να διακρίνουμε ποιος είναι πολικός, μη πολικός ή ημιπολικός (MCK) / Καθώς υπήρχε διαφορά ανάμεσα στον πολωμένο και μη ομοιοπολικό δεσμό (MCK) / Γιατί έχει τις παρακάτω περιπτώσεις: πολικός, ημιπολικός, μη πολικός (MCK) / Διότι έπρεπε να κατανοήσω και τον μη πολωμένο δεσμό (T & G). • Καθώς υπάρχει αναφορά σε φαινομενικά φορτία και είναι πιο πολύπλοκος ο τρόπος που σχηματίζονται (MCE). • Η δυσκολία συγκεκριμένα ήταν στην κατανόηση του μηχανισμού του ομοιοπολικού δεσμού (MCE). • Στο σχηματισμό των τύπων κατά Lewis (MCK) / Καθώς αυτός έχει περισσότερες πληροφορίες (MCK). Συχνά δημιουργούνται δυσκολίες σε διάφορες σύνθετες ενώσεις που χρειάζεται να απεικονισθούν με τύπους Lewis (MCE). • Όσον αφορά την επικάλυψη των ατομικών τροχιακών (MCK).
Ειδικοί λόγοι	Ειδικοί λόγοι
• Διότι συμβαίνει διάσταση των ατόμων που απομακρύνονται από το κρυσταλλικό πλέγμα (MCK). • Γιατί πρέπει να προσδιορίσεις ακριβώς πόσα e^- δίνει το ένα άτομο και πόσα θα πάρει το άλλο (MCK).	• Διότι υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις και υπάρχουν και οι εξαιρέσεις στον κανόνα της οκτάδας, ακόμη, επειδή υπήρχαν πολλοί παράμετροι για τον σχηματισμό του: e^- σθένους, δεσμικά και αντιδεσμικά e^-, κ.τ.λ. (MCK) και σχηματικά είναι πιο απαιτητικός από τον ιοντικό, οι δομές Lewis δηλαδή (MCE). • Λόγω της συνεισφοράς ζευγών e^- (MCK) / Λόγω κοινής συνεισφοράς e^- μεταξύ των ατόμων (MCK) / Γιατί έπρεπε να κατανοήσουμε ότι τα ηλεκτρόνια είναι ταυτόχρονα σε δύο άτομα (MCE) / Διότι τα άτομα δεν ανταλλάσσουν e^- μεταξύ τους και ήταν πιο δύσκολη η εμπέδωση της «αμοιβαίας συνεισφοράς» ηλεκτρονίων (MCE). • Ειδικά ο ημιπολικός γιατί είχε λιγότερα παραδείγματα για την κατανόησή του (S/A). • Γιατί είναι πιο δύσκολο να σχηματίσει κανείς την εικόνα στο μυαλό του (MCE) και στη συνέχεια πρέπει να

	κατανοήσει τον σχηματισμό, αλλά και το πώς «λειτουργούν» τα υβριδοποιημένα τροχιακά κ.τ.λ. (MCK). • Καθ' ότι πρέπει να διερευνήσουμε τη σταθερότητα της ένωσης που προκύπτει και τη θέση του ζεύγους e^- στο μόριο, ποιος πυρήνας δηλ. τα έλκει περισσότερο (S/A). • Διότι ο μηχανισμός του δεν ήταν τόσο απλουστευμένος όσο του ιοντικού (MCK). • Διότι η αναπαράσταση ορισμένων ενώσεων κρύβει δυσκολίες (MCE). • Γιατί περιλαμβάνει εξαιρέσεις, π.χ. <u>υπερσθενή άτομα</u> (sic) (MCK). • Γιατί είναι πιο περίπλοκος, κυρίως όταν μελετάμε τα τροχιακά τους: s, p, d, f και όταν αυτά <u>υβριδίζονται</u> (sic) (MCE). • Διότι δεν ήταν σαφές πόσοι δεσμοί δημιουργούνται ανάμεσα στα άτομα (MCK).
Καμία εξήγηση / ταυτολογίες (δυο φορές)	Καμία εξήγηση / ταυτολογίες (δέκα φορές)

Μέρος Β του τεστ, Ερώτηση 3: Να αναφέρετε 1 ή 2 δυσκολίες που αντιμετωπίσατε κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών.

Στην περίπτωση αυτή, οι απαντήσεις των φοιτητών ταξινομήθηκαν σε τρεις ομάδες:

- α) Δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα
- β) Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας
- γ) Καμία απάντηση / ταυτολογίες.

Τα σχόλια / απαντήσεις των φοιτητών (ανάλογα με την κατηγορία που ταξινομήθηκαν) παρουσιάζονται παρακάτω:

α) Δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα.

1. "Κατανόηση έννοιας ηλεκτρονίων σθένους καθώς και πότε και πώς σχηματίζεται ο κάθε δεσμός" (MCK).

2. "Οι εξαιρέσεις του κανόνα της οκτάδας των στοιχείων, π.χ. στα B και Be. Επίσης η κατανόηση των e^- σθένους και ο ρόλος τους στο σχηματισμό δεσμών" (MCK).
3. "Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις, όπως ο PCl_5 , που δεν ακολουθούν τον «κανόνα της οκτάδας» και γι' αυτό μάς είναι δύσκολο να τους μελετήσουμε και να τους κατανοήσουμε" (MCK).
4. "Η ύπαρξη κάποιων εξαιρέσεων, που δεν είναι σύμφωνα με τους κανόνες και χρειάζονται αποστήθιση (B, Be)" (S/A).
5. "Δεν ήταν σαφές πόσοι δεσμοί δημιουργούνται στους ομοιοπολικούς δεσμούς, και με πόσα περιφερειακά στοιχεία πρέπει να ενωθεί το κεντρικό στοιχείο ώστε να είναι σταθερός ο δεσμός" (T & G).
6. "Δυσκολεύτηκα να κατανοήσω τον κανόνα της οκτάδας με τον τρόπο που αναγραφόταν στο βιβλίο και έτσι χρησιμοποίησα μια παραλλαγή αυτού (του κανόνα) που μου έμαθε η καθηγήτριά μου" (T & G).
7. "Η αναπαράσταση κατά Lewis, ιδιαίτερα των ιοντικών δεσμών και οι εξαιρέσεις μερικών ενώσεων (π.χ. BF_6)" (MCK).
8. "Δομές Lewis και κατανόηση ομοιοπολικού πολικού και μη πολικού δεσμού" (MCK).
9. "Η αναπαράσταση της δομής Lewis" (δύο φορές) (MCK).
10. "1. Η κυριότερη δυσκολία που είχα στην αρχή ήταν να ξεχωρίζω ποια άτομα κάνουν ιοντικό και ποια ομοιοπολικό δεσμό & 2. Οι δομές Lewis" (MCK).
11. "Αρχικά υπήρχαν δυσκολίες στη διάκριση των περιπτώσεων όπου εφαρμόζονταν ο ιοντικός ή ο ομοιοπολικός δεσμός" (MCK).
12. "Ήταν δύσκολο να διακρίνω σε ποιες ενώσεις έχουμε ομοιοπολικό και σε ποιες ιοντικό δεσμό" (MCK).
13. "Αρχικά μπερδευα τους δεσμούς μεταξύ τους, αδυνατούσα να κατανοήσω τη βαθύτερη ουσία τους και να τους συσχετίσω με πολλές έννοιες που συνδέονται, όπως ηλεκτραρνητικότητα κ.λπ. (MCE). Πολλές φορές κατηγοριοποιούσα τις ενώσεις και αυτά που άκουγα από τους καθηγητές ώστε να τα μάθω (S/A)".
14. "Δυσκολεύτηκα να κατανοήσω τη διαφορά πολικού ομοιοπολικού δεσμού και μη πολικού ομοιοπολικού δεσμού" (MCK).
15. "Η μεγαλύτερη δυσκολία ήταν στον διαχωρισμό των στοιχείων που σχηματίζουν τους δύο δεσμούς" (MCK).
16. "Να διακρίνω τα μέταλλα από τα αμέταλλα" (MCK).

17. "Η δυσκολία έγκειται στον τρόπο κατανόησης της δημιουργίας του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού" (MCE).
18. "Να ξεχωρίζω τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε δεσμού" (MCK).
19. "Δεν μπορούσα να θυμηθώ τα χαρακτηριστικά των δύο δεσμών και τις βασικές διαφορές τους " (MCK).
20. "Δυσκολία στην κατανόηση του πολωμένου ομοιοπολικού δεσμού" (MCK).
21. "Το δυσκολότερο σημείο είναι το ότι πρέπει να θυμάσαι περίπου τις ηλεκτραρνητικότητες των ατόμων και τα e σθένους του καθενός " (MCK).
22. "Κατανόηση της πολικότητας" (MCK).
23. "Σχετικά με την πολικότητα των δεσμών και με τη δραστικότητα" (*δεν αναφέρει ποια «δραστικότητα» εννοεί*) (MCK).
24. "Ο ημιπολικός δεσμός και η διαφορά στην πολικότητα" (MCK).
25. "Την κατανόηση του υβριδισμού χωροταξικά και ενεργειακά. Τη δημιουργία δεσμών των ημιμετάλλων με άλλα στοιχεία" (S/A).
26. "Τα υβριδικά τροχιακά, δυσκολία στην κατανόηση του τρόπου «λειτουργίας» τους" (MCE).
27. "Υβριδισμός και κβαντικά (?) τροχιακά" (MCK).
28. "Ο τρόπος δημιουργίας (τροχιακά, υβριδισμός) & Οι λόγοι δημιουργίας αυτών" (MCK).
29. "Η μεγαλύτερη δυσκολία εμφανίζεται στο σύστημα VSEPR " (MCK).
30. "Αρχικά η κατανόηση του «γιατί» γίνονται οι δεσμοί και η ικανότητα στο να ξεχωρίζω πότε δημιουργείται ιοντικός και πότε ομοιοπολικός δεσμός" (MCK).
31. "Τα είδη των δεσμών, δηλαδή «σ», «π» και οι επικαλύψεις των τροχιακών που σχετίζονται μ' αυτούς" (MCK).

β) Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας.

1. "Όχι κάποια δυσκολία" (*δύο φορές*) (MCK).
2. "Δεν υπήρξαν ιδιαίτερες δυσκολίες. Πολύ μικρές αλλά στην πορεία όλα έγιναν κατανοητά" (MCE).
3. "Λίγη δυσκολία στην κατανόηση του ομοιοπολικού δεσμού" (MCE).
4. "Ο ιοντικός δεσμός" (MCK).
5. "Ορισμένες φορές στη δημιουργία του δεσμού αν ήταν περίπλοκος" (MCE).

6. "Διαισθητική κατανόηση των δεσμών" (MCE).
7. "Κατανόηση κάποιων ορισμών και του τρόπου που δημιουργούνται οι δεσμοί" (MCK).
8. "Η κατανόηση των δεσμών είναι πολύπλοκη διότι μιλάμε για το μικρόκοσμο, γεγονός που το καθιστά δύσκολο εξαρχής, αφού η παρακολούθηση της δημιουργίας ενός δεσμού (π.χ. μικροσκόπιο) είναι πρωτόγνωρο για έναν πρωτοετή φοιτητή" (S/A).
9. "Η «επαφή» με καινούριες έννοιες" (MCK).
10. "Οι δυσκολίες είναι αρκετές διότι είναι ένα θεωρητικό κομμάτι και υπάρχουν αρκετές θεωρίες οι οποίες πρέπει να γίνουν όλες κατανοητές, κάτι που είναι δύσκολο σε τόσο λίγο χρόνο" (MCK).
11. "Το γεγονός ότι τους διδάχθηκαν (τους δεσμούς) σε πολλές τάξεις, κάθε φορά και με αυξανόμενη δυσκολία, δε με βοήθησε στο να τους κατανοήσω συνολικά και ομοιόμορφα. Για αυτό και έχω πολλά κενά, όσον αφορά τις διαφορές μεταξύ τους" (MCE).
12. "Οι δυσκολίες είναι πάρα πολλές, δεν είναι μόνο μία ή δύο!" (MCK).
13. "Δε θυμάμαι που δυσκολεύτηκα" (MCK).

γ) Καμία απάντηση / ταυτολογίες.

Είκοσι επτά (27) φορές

5.8. Συζήτηση των σχολίων / απαντήσεων των φοιτητών

Ξεκινώντας τον σχολιασμό των απαντήσεων των φοιτητών, για το 3^ο ερώτημα, παρατηρούμε ότι ένας μεγάλος αριθμός των απαντήσεων των φοιτητών, 27/73 (37,0%) ταξινομήθηκαν στην 3^η κατηγορία, δηλαδή οι φοιτητές αυτοί ουσιαστικά δεν απάντησαν στο ερώτημα αυτό. Ο λόγος που παρατηρούμε αυτό το μεγάλο ποσοστό είναι ίσως ότι οι δυσκολίες που συναντάνε οι φοιτητές δεν είναι μόνο μία ή δύο και πολύ περισσότερο δεν εντοπίζονται σε συγκεκριμένες έννοιες και είναι περισσότερο γενικές. Αυτό είναι ίσως και ο λόγος που απέτρεψε τους φοιτητές από το να δώσουν κάποια συγκεκριμένη απάντηση (πιθανότατα να υπήρχε και ο περιορισμός του χρόνου).

Στην πρώτη κατηγορία (δυσκολίες με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα) κατατάσσονται οι απαντήσεις των 32 από τους 73 (43,8 %) συνολικά φοιτητών. Εδώ οι δυσκολίες των φοιτητών έχουν να κάνουν κυρίως με:

- i) τα ηλεκτρόνια σθένους, το αναφέρουν 3 στους 73 φοιτητές,
- ii) τον «κανόνα των οκτώ» καθώς και τις εξαιρέσεις αυτού, το αναφέρουν 6 στους 73 φοιτητές,
- iii) τις δομές Lewis, το αναφέρουν 5 στους 73 φοιτητές,
- iv) τη διάκριση μεταξύ μετάλλων και αμετάλλων, πότε και πώς θα δημιουργηθεί ιοντικός, πότε και πώς θα δημιουργηθεί ομοιοπολικός δεσμός, πως διακρίνουμε τους δεσμούς μεταξύ τους, κ.ά., το αναφέρουν 9 στους 73 φοιτητές,
- v) τα χαρακτηριστικά του κάθε δεσμού, το αναφέρουν 2 στους 73 φοιτητές,
- vi) ηλεκτραρνητικότητα, πολωμένος ομοιοπολικός δεσμός, μη πολωμένος ομοιοπολικός δεσμός, πολικότητα, το αναφέρουν 8 στους 73 φοιτητές,
- vii) «σ» και «π» δεσμοί, υβριδισμός, υβριδικά τροχιακά, το αναφέρουν 5 στους 73 φοιτητές,

Τέλος στην δεύτερη κατηγορία (γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας) κατατάσσονται οι απαντήσεις των υπολοίπων 14 από τους 73 (19,2 %) συνολικά φοιτητών. Εδώ οι απαντήσεις των φοιτητών έχουν ως εξής:

- i) 2 από τους 73 (2,7 %) συνολικά φοιτητές απαντούν ότι δε συνάντησαν καμιά δυσκολία,
- ii) 2 από τους 73 (2,7 %) συνολικά φοιτητές απαντούν ότι γενικά δε συνάντησαν ιδιαίτερες δυσκολίες ή συνάντησαν λίγη δυσκολία (βλέπε τις απαντήσεις των φοιτητών στη δεύτερη κατηγορία, από 2 έως και 3),
- iii) 5 από τους 73 (6,8 %) συνολικά φοιτητές απαντούν ότι δυσκολεύονται γενικά στους δεσμούς (ιοντικό ή/και ομοιοπολικό) (βλέπε τις απαντήσεις των φοιτητών στη δεύτερη κατηγορία, από 3 έως και 7),
- iv) 2 φοιτητές αναφέρουν ότι οι δεσμοί είναι ένα δύσκολο θέμα διότι είναι κάτι το θεωρητικό που αναφέρεται στο μικρόκοσμο ενώ ένας άλλος δυσκολεύεται με τις νέες έννοιες,
- v) τέλος δύο φοιτητές αναφέρουν ότι έχουν πολλά κενά και πολλές δυσκολίες στους δεσμούς ενώ ένας δε θυμάται που δυσκολεύτηκε!

5.9. Σύγκριση πρωτοετών φοιτητών με τους μαθητές α' λυκείου

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι χημικοί δεσμοί αποτελούν κάτι πολύ δύσκολο για τους πρωτοετείς φοιτητές (μόλις το 2,7 % των φοιτητών δηλώνουν ότι δεν συνάντησαν καμία απολύτως δυσκολία). Το ποσοστό αυτό είναι σημαντικά πιο χαμηλό σε σχέση με αυτό των μαθητών της α' τάξης λυκείου (το 16,7 % το μαθητών δήλωσαν ότι δε συνάντησαν καμία απολύτως δυσκολία). Επίσης εντύπωση μας κάνει το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των φοιτητών (37,0%) δεν απάντησαν στο ερώτημα αυτό. Το αντίστοιχο ποσοστό για τους μαθητές είναι χαμηλότερο (24,2%)! Αν αναζητήσουμε τους λόγους μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

1. Η έννοια του χημικού δεσμού είναι κάτι πολύ δύσκολο όχι μόνο για τους μαθητές της α' λυκείου αλλά ακόμη και για πρωτοετείς φοιτητές (συμπεριλαμβανομένου του Τμήματος Χημείας).
2. Οι φοιτητές δηλώνουν ότι δεν έχουν κατανοήσει ή συναντούν δυσκολίες σε θέματα και έννοιες που διδάχθηκαν ως μαθητές στο λύκειο (ηλεκτραρνητικότητα, δομές Lewis, «κανόνας των οκτώ», κ.ά.). Ένας φοιτητής μάλιστα δηλώνει ως δυσκολία τη διάκριση μετάλλων από τα αμέταλλα (κάτι που το διδάχθηκε από το γυμνάσιο).
3. Σε όλα τα παραπάνω έρχονται να προστεθούν (για τους φοιτητές) δυσκολότερες έννοιες που τις διδάχθηκαν είτε στην γ' λυκείου, είτε στο πρώτο έτος της σχολής τους («σ» και «π» δεσμοί, υβριδικά τροχιακά, εξαιρέσεις από τον «κανόνα των οκτώ», κ.ά.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ

6.1. Εισαγωγή

Στην εποχή μας, στην κοινωνική και εκπαιδευτική πραγματικότητα, οι τρόποι αναπαράστασης της γνώσης για την κατασκευή νοητικών εικόνων και εννοιολογικών σχημάτων αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία. Στον κόσμο στον οποίο ζούμε κατακλυζόμαστε συνεχώς με εικόνες από την τηλεόραση, τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα, τον κινηματογράφο κ.ά. Το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει «μετατοπιστεί» στους τρόπους αναπαράστασης των επιστημών και ιδιαίτερα στον χώρο της εκπαίδευσης, κάτι το οποίο δεν έχει μελετηθεί εκτεταμένα. Από την άλλη, τα σχολικά βιβλία εξακολουθούν να έχουν το κύριο βάρος στη μαθησιακή και διδακτική διαδικασία, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες.

Με τον όρο οπτική αναπαράσταση (ΟΑ) εννοούμε κάθε λεκτικό ή μη λεκτικό τρόπο αναπαράστασης ενός φαινομένου ή μιας κατάστασης ή μιας έννοιας, ο οποίος διαφοροποιείται από το κείμενο. Ως παραδείγματα ΟΑ μπορούμε να αναφέρουμε: τις φωτογραφίες, τα σκίτσα, τις γραφικές παραστάσεις, τα συστημικά δίκτυα, ή τις τυποποιημένες αναπαραστάσεις (χημικές εξισώσεις ή σύμβολα) κ.ά. (Αμαριωτάκης, Σπηλιωτοπούλου & Ιωαννίδης, 2007). Οι οπτικές αναπαραστάσεις σε εγχειρίδια εμφανίζονται από την προσχολική ακόμη ηλικία (Καράντζολα & Ιντζίδη, 1999). Στις πρώτες τάξεις του δημοτικού, η εικόνα συνοδεύεται από γραπτό κείμενο, ενώ προοδευτικά, κατά τη διάρκεια των σχολικών χρόνων, η εικόνα καθίσταται επίσης μέσο εποπτικής μάθησης σε ποικίλα γνωστικά αντικείμενα.

Μια κατεύθυνση θα μπορούσε να είναι η μελέτη του χρησιμοποιούμενου διδακτικού υλικού και των χαρακτηριστικών εκείνων που μπορεί να επηρεάζουν τον τρόπο σκέψης των μαθητών. Πολλές φορές τα σχολικά βιβλία έχουν γίνει αντικείμενο κριτικής, τόσο όσον αφορά τη μαθησιακή αποτελεσματικότητα (AAAS, 2001a, 2001b), όσο και το βαθμό που αυτά αποτυγχάνουν να αναπτύξουν την κριτική σκέψη των μαθητών (Giordano, 2003). Τα περισσότερα σχολικά βιβλία 'καλύπτουν' βασικές έννοιες-κλειδιά που προκύπτουν μέσα από το αναλυτικό πρόγραμμα. Έτσι οι ιδέες

παρουσιάζονται μόνο ως τμήματα πληροφορίας, με τρόπο αποσπασματικό και μεμονωμένο, που σπάνια προσφέρει στο μαθητή την ευκαιρία να κάνει συνδέσεις μεταξύ των ιδεών και που είναι σημαντικό γνωστικό βήμα στη συγκρότηση του είδους της συνεκτικής κατανόησης που χαρακτηρίζει την επιστημονική σκέψη (Αμαριωτάκης, Σπηλιωτοπούλου & Ιωαννίδης, 2009).

6.2. Η σημασία των στατικών οπτικών αναπαραστάσεων των χημικών δομών που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς⁸

Είναι γνωστό ότι τα παραδοσιακά προπτυχιακά μαθήματα κβαντικής χημείας τείνουν να έχουν έντονο μαθηματικό προσανατολισμό και αυτό αποτελεί μαθησιακό εμπόδιο για τους περισσότερους φοιτητές, καθιστώντας δύσκολο για αυτούς να αποκτήσουν εννοιολογική κατανόηση των σχετικών εννοιών (Tsaparlis, 1997, 2013, 2021). Από την άλλη πλευρά, οι ποιοτικές προσεγγίσεις, οι οποίες βασίζονται στην οπτικοποίηση ατομικών και μοριακών τροχιακών και, κατά κανόνα, χρησιμοποιούνται σε εισαγωγικά μαθήματα γενικής και ανόργανης χημείας, ενδέχεται επίσης να μην παρέχουν μια σαφή φυσική εικόνα. Για τους Barradas-Solas και Sánchez Gómez (2014), η χρήση γραφικών αναπαραστάσεων τροχιακών έχει χαρακτηριστικά που εμπίπτουν στην κατηγορία των εναλλακτικών αντιλήψεων ή παρανοήσεων και τα οποία οδήγησαν ακόμη και σε προτάσεις ότι αυτά τα «χημικά» τροχιακά θα πρέπει να παραλειφθούν εντελώς από την εκπαίδευση στη χημεία. Σε κάθε περίπτωση, για να είναι αποτελεσματικές τέτοιες προσεγγίσεις απαιτούν μεγάλη προσοχή (Tsaparlis & Papaphotis, 2009). Οι Dangur, Avargil, Peskin και Dori (2014) χρησιμοποίησαν μια ποιοτική οπτικό-εννοιολογική προσέγγιση στη διδασκαλία της κβαντικής χημείας (συμπεριλαμβανομένων των εννοιών του δεσμού, δίνοντας έμφαση σε διεπιστημονικές εφαρμογές της πραγματικής ζωής) και ερεύνησαν την επίδραση της προσέγγισης στην οπτική και κειμενική κατανόηση των εννοιών της κβαντομηχανικής από τους μαθητές. Σύμφωνα με τα ευρήματα, η κειμενική και οπτική κατανόηση των εννοιών της κβαντομηχανικής και η ικανότητα μετακίνησης σε εικονογραφήσεις και επεξηγήσεις

⁸ Το εδάφιο αυτό αντλεί πληροφορίες από πρόσφατο άρθρο των Tsaparlis et al. (2021). Tsaparlis, G., Pantazi, G., Pappa, E. T. and Byers, B. (2021). Using electrostatic potential maps as visual representations to promote better understanding of chemical bonding. Chemistry Teacher International.

βελτιώθηκαν σημαντικά για τους αριστούχους μαθητές λυκείου και τους προπτυχιακούς φοιτητές χημείας, που έλαβαν μέρος σε αυτήν την προσέγγιση. Οι Polifka, Baluyut και Holme (2021) χρησιμοποίησαν ένα εργαλείο «Αξιολόγησης Μεταβλητής Αναπαράστασης», με το οποίο οι ερωτήσεις και οι απαντήσεις δίνονται μέσω ενός προγράμματος περιήγησης στο διαδίκτυο. Αυτό το πρόγραμμα μπορεί να παρέχει εκπαιδευτικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι φοιτητές χρησιμοποιούν μοριακές αναπαραστάσεις σε ένα μάθημα. Έτσι μπορούν να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με τις μοριακές ιδιότητες που μπορούν να εξαχθούν από τέτοιες αναπαραστάσεις. Χρησιμοποιώντας αυτό το εργαλείο, οι φοιτητές σε ένα μάθημα γενικής χημείας των ΗΠΑ περιηγήθηκαν σε πέντε διαφορετικά στυλ αναπαράστασης: (1) χημικούς τύπους, (2) δομές Lewis, (3) δομές με σφήνες και παύλες, (4) δομές με μπάλες και ραβδιά και (5) χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φοιτητές έπρεπε να αξιοποιήσουν μια καλύτερη ισορροπία μεταξύ των διαφόρων μοριακών αναπαραστάσεων. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι η επικράτηση της χρήσης δομών Lewis σε πολλά μαθήματα χημείας μπορεί να είχε οδηγήσει τους μαθητές να περιορίσουν τη χρήση ενός ευρύτερου φάσματος αναπαραστάσεων. Από την άλλη, η προφανής έλλειψη εξοικείωσης των φοιτητών με τους *χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού* φαίνεται πιθανό να συνέβαλε στο να τους αποτρέψει να τους χρησιμοποιήσουν.

6.3. Η έρευνα των Tsaparlis et al. (2021) η σχετική με τις Οπτικές Αναπαραστάσεις

6.3.1. Το δείγμα των φοιτητών

Σε εργασία τους οι Tsaparlis, Pantazi, Pappa και Byers (2021) αναφέρονται σε έρευνα σχετική με τις οπτικές αναπαραστάσεις η οποία πραγματοποιήθηκε το εαρινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2018–19. Στη συγκεκριμένη έρευνα συμμετείχαν 31 φοιτητές ($N = 31$) που βρίσκονταν στο πρώτο έτος σπουδών, στο δεύτερο εξάμηνο (ηλικία 18–19) και παρακολουθούσαν το μάθημα επιλογής «Διδακτική Φυσικών Επιστημών» στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Σκοπός του μαθήματος ήταν να λειτουργήσει ως εισαγωγή στη γνώση περιεχομένου και στη γνώση παιδαγωγικού περιεχομένου που είναι σχετικές με το επάγγελμα του καθηγητή χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε μια τελική γραπτή εξέταση κλειστού βιβλίου τον Ιούνιο του 2019. Τα θέματα των εξετάσεων αποτελούνταν από τέσσερις ενότητες αλλά μόνο το θέμα Δ ήταν σχετικό με αυτή την έρευνα. Η διάρκεια της εξέτασης ήταν 3 ώρες για όλες τις ενότητες και ερωτήσεις.

6.3.2. Τα ερευνητικά ερωτήματα

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φοιτητές δεν ήταν εξοικειωμένοι με τις στατικές έγχρωμες αναπαραστάσεις το κύριο ερευνητικό ερώτημα στην εργασία των Tsaparlis et al. (2021) ήταν:

- κατά πόσο οι μαθητές θα μπορούσαν να αποκωδικοποιήσουν και να ενσωματώσουν/συνθέσουν έγχρωμες ΟΑ στις προηγούμενες γνώσεις τους στη χημεία;

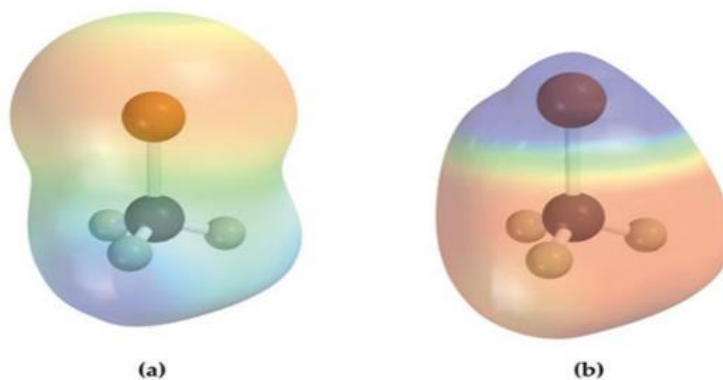
Η απάντηση σε αυτό το κύριο ερευνητικό ερώτημα προκύπτει από τις απαντήσεις σε μια σειρά επιμέρους ερευνητικών ερωτημάτων, που σχετίζονται με τη χρήση από τους φοιτητές έγχρωμων στατικών οπτικών αναπαραστάσεων, χημικών δομών και χημικών δεσμών που προέκυψαν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς:

- Σε ποιο βαθμό οι έγχρωμες στατικές ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές:
 - EE1: να συμπεράνουν για τον τύπο του δεσμού σε διάφορα μόρια;
 - EE2: να εξηγήσουν τη μεταβολή της πολικότητας του δεσμού σε διάφορα μόρια;
 - EE3: να αξιοποιήσουν τη διαφορά μεγέθους μεταξύ ενός ατόμου και του αντίστοιχου ιόντος;
 - EE4: να κατανοήσουν την έννοια της συνέχειας των τύπων δεσμού (ιοντικού και ομοιοπολικού) και να ξεπεράσουν την κοινή παρανόηση ότι η πολικότητα του δεσμού είναι χαρακτηριστικό μόνο των ομοιοπολικών δεσμών και όχι των ιοντικών; Επιπλέον:
 - EE5: Με ποιους τύπους στατικών ΟΑ για κοινά ομοιοπολικά μόρια, όπως H_2 και H_2O , είναι ήδη εξοικειωμένοι οι φοιτητές;
 - EE6: Πώς συγκρίνονται οι πληροφορίες που μπορούν να λάβουν οι φοιτητές από τις έγχρωμες ΟΑ που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς με τις πληροφορίες που μπορούν να λάβουν από τις ΟΑ με τις οποίες είναι ήδη εξοικειωμένοι;

6.3.3. Το ερευνητικό μέσο

Το θέμα Δ της εξέτασης στην έρευνα των Tsaparlis et al. (2021) αποτελούνταν από τέσσερις ερωτήσεις. Η Ερώτηση Δ.1 (η οποία αφορούσε τα ερευνητικά ερωτήματα ΕΕ5 και ΕΕ6) ζητούσε από τους φοιτητές να σχεδιάσουν όσες ΟΑ ήξεραν για το μόριο υδρογόνου (H_2) και το μόριο του νερού (H_2O). Η ερώτηση Δ.2 περιλάμβανε πέντε υποερωτήματα και σχετίζονταν με ένα σύνολο έγχρωμων στατικών δομών, οι οποίες έχουν προκύψει από κατάλληλους κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας (Jensen, 2010). Το Σχήμα 6.2 δείχνει τους χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα.

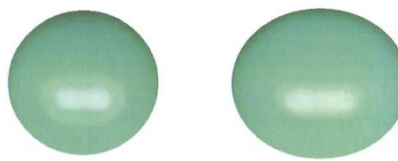
Η ερώτηση Δ.3 (η οποία αφορούσε το ερευνητικό ερώτημα ΕΕ2) παρείχε εικόνες έγχρωμων ΟΑ για δύο οργανικά μόρια με παρόμοιες δομές (CH_3Li και CH_3Cl) (βλ. Σχήμα 6.1) και ζητούσε από τους φοιτητές να προσδιορίσουν και να αιτιολογήσουν ποια δομή αντιστοιχεί σε ποιο μόριο. Τέλος, η ερώτηση Δ.4 (η οποία αφορούσε το ερευνητικό ερώτημα ΕΕ6 και σχετίζονταν επίσης και με όλα τα προηγούμενα ερευνητικά ερωτήματα) ήταν μεταγνωστικής φύσεως και ζητούσε από τους φοιτητές να συγκρίνουν τις ΟΑ για το μόριο υδρογόνου και το μόριο του νερού που είχαν σχεδιάσει στην απάντησή τους στην ερώτηση Δ.1 με τα αντίστοιχες έγχρωμες κβαντομηχανικές ΟΑ.



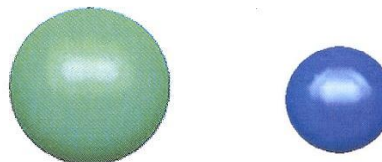
Σχήμα 6.1: Οι οπτικές αναπαραστάσεις για τις οποίες οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν ποια άνηκε στο CH_3Li και ποια στο CH_3Cl .

Ερώτηση Δ.2. Δίνονται οι χάρτες (ηλεκτροστατικού δυναμικού):

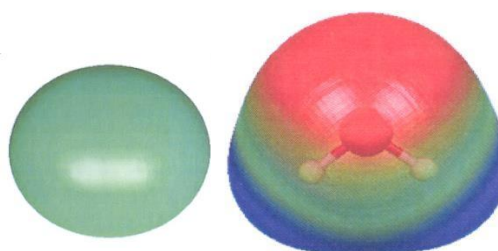
(α) Θεωρητικός (κβαντομηχανικός) υπολογισμός της γεωμετρίας του ατόμου H (αριστερά) και του μορίου H₂ (δεξιά).



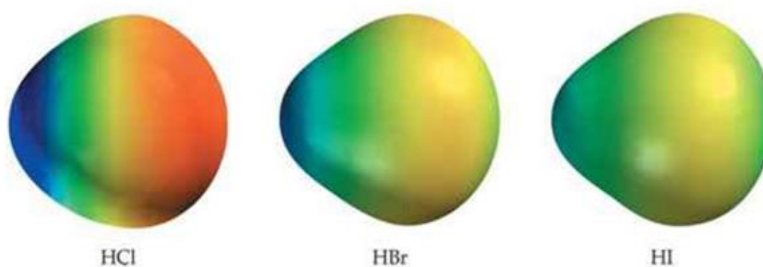
(β) Θεωρητικός (κβαντομηχανικός) υπολογισμός της γεωμετρίας του ατόμου (Li) (αριστερά) ιόντος λιθίου (Li⁺) (δεξιά).



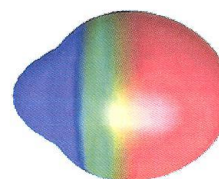
(γ) Η δομή του μορίου υδρογόνου (H₂) (αριστερά) και της δομής του μορίου νερού (H₂O) (δεξιά), όπως αυτά υπολογίστηκαν κβαντομηχανικά.



(δ) Η δομή των μορίων των υδραλογόνων, HCl, HBr και HI.



(ε) Η γεωμετρία του συστήματος που αποτελείται από ένα άτομο λιθίου και ένα άτομο υδρογόνου (υδρίδιο του λιθίου, Li-H) όπως υπολογίζεται κβαντομηχανικά.



Χρωματική κλίμακα για την πολικότητα του ηλεκτροστατικού δυναμικού:



Σχήμα 6.2: Οι χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού που χρησιμοποιήθηκαν στην κύρια μελέτη, συμπεριλαμβανομένης μιας κλίμακας για την πολικότητα του ηλεκτροστατικού δυναμικού.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Λόγω του ότι οι μαθητές δεν διδάσκονται την κβαντομηχανική προσέγγιση της χημικής δομής ατόμων και μορίων (εκτός από μια γενική αναφορά στην έννοια του ηλεκτρονιακού νέφους), οι περιγραφές που συνόδευαν τις παραπάνω έγχρωμες εικόνες είχαν μια ποικιλία που ίσως *δεν έπρεπε να υπάρχει*. Περισσότερα για το πρόβλημα αυτό, όσο και για την περιγραφή της μεθόδου κατασκευής επιφανειών ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας και χαρτών ηλεκτροστατικού δυναμικού για χημικές δομές που προκύπτουν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς, δείτε στο τέλος του Παραρτήματος 3.1 στο τέλος του κεφαλαίου 3.

6.3.4. Περιγραφική στατιστική

Η μέση βαθμολογία που έλαβαν οι 31 φοιτητές στο θέμα Δ της έρευνας των Tsaparlis et al. (2021) ήταν 52,9% (τ.α. 16,2%), κάτι που αντιστοιχεί σε μια μέτρια επίδοση. Υπήρχαν επτά φοιτητές (22,6% όλων των φοιτητών) που πέτυχαν βαθμολογία μεγαλύτερη του 70% (οι φοιτητές # 18, 8, 27, 16, 9, 12 και 4, με τον φοιτητή #18 να επιτυγχάνει την υψηλότερη βαθμολογία 77,4%). Αξίζει να σημειώσουμε ότι η υψηλότερη μέση βαθμολογία αντιστοιχούσε στο ερώτημα Δ.2 (57,9%) και η χαμηλότερη στο ερώτημα Δ.1 (37,3%).

6.3.5. Η ερώτηση Δ.1

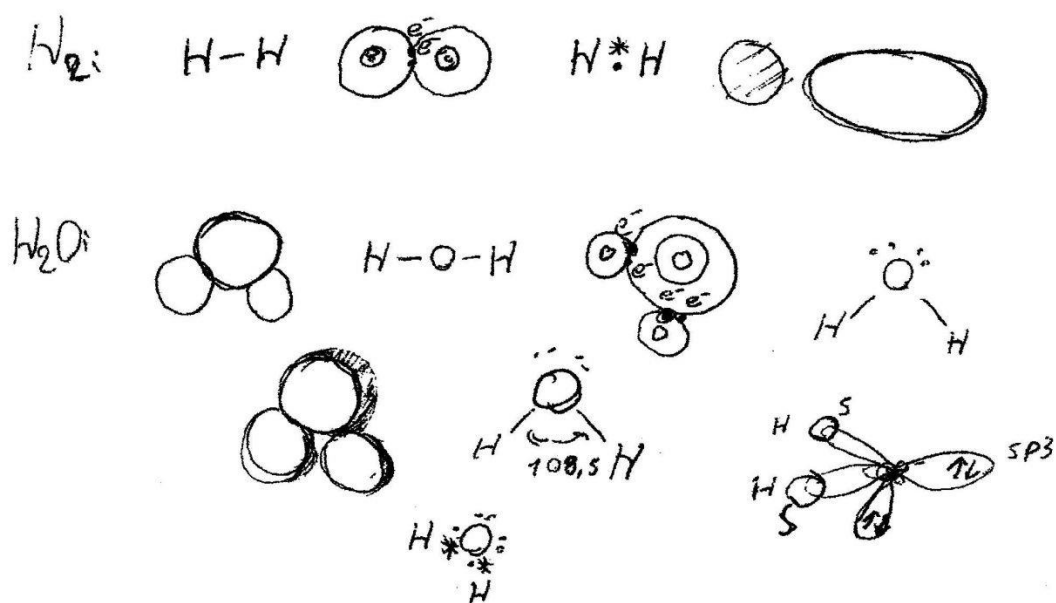
Η ερώτηση Δ.1 ζητούσε από τους φοιτητές να σχεδιάσουν όσες οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) ήξεραν για το μόριο υδρογόνου (H_2) και το μόριο του νερού (H_2O). (Ως παραδείγματα απλούστατων ΟΑ δόθηκαν οι χημικοί τύποι H_2 και H_2O .)

Η ερώτηση Δ.1 βαθμολογήθηκε με βάση μια ακολουθία αναμενόμενων ΟΑ για τα μόρια H_2 και H_2O . Στην περίπτωση του H_2 , οι μισοί βαθμοί δόθηκαν για τη συμπερίληψη της ελλειψοειδούς επιφάνειας ίσης πυκνότητας (ένας «επίπεδος σάκος») για το H_2 [δείτε το επάνω δεξιά σχήμα στην απάντηση του φοιτητή #18 στο Σχήμα 6.3]. Η βαθμολόγηση είναι εμφανής από τις απαντήσεις που έδωσαν οι δύο καλύτεροι φοιτητές, όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.3 και 6.4.

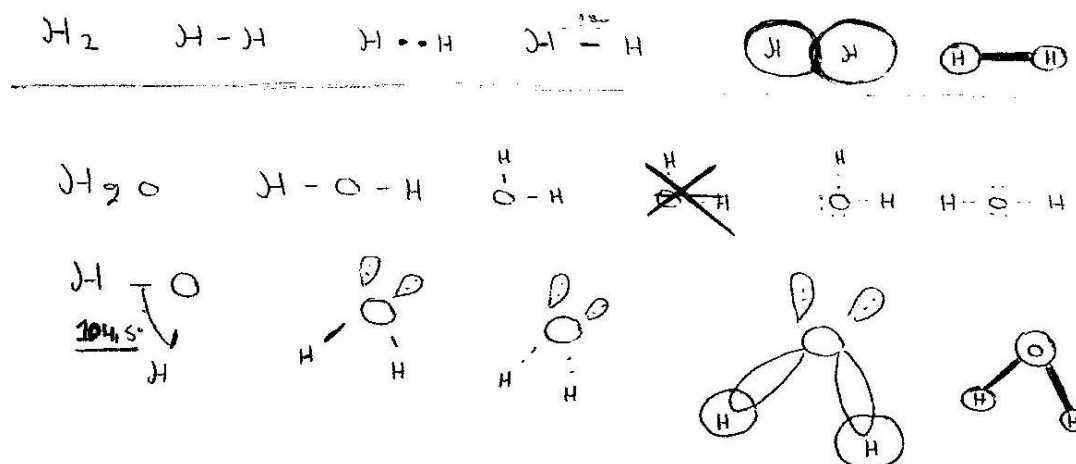
ΕΠΙΔΟΣΗ ΣΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ Δ.1 Μέσος όρος = 37,3%, τυπική απόκλιση = 22,7%, μεγαλύτερος βαθμός = 97%, μικρότερος βαθμός = 10%, διάμεσος = 30,0%.

Η ερώτηση Δ.1 (που ασχολείται με ΟΑ για το υδρογόνο και το μόριο του νερού αντίστοιχα) έδειξε τη χειρότερη επίδοση (37,3%) από όλες τις ερωτήσεις του τεστ και αυτό ίσχυε και για τα δύο μέρη της (βλ. Πίνακα 6.1).

Τα κακά αποτελέσματα προέκυψαν από το γεγονός ότι πολλοί μαθητές χρησιμοποίησαν μόνο απλούς δομικούς τύπους: $H-H$ και γραμμικούς και/ή με κεκαμμένη γεωμετρία $H-O-H$, συν τις αντίστοιχες δομές Lewis. Πολλοί φοιτητές χρησιμοποίησαν επίσης μοντέλα με μπάλες και ραβδάκια (stick-and-ball models). Πολύ λίγοι συμπεριέλαβαν την τιμή ($104,5^\circ$) για τη γωνία στο H_2O . Αρκετοί μαθητές χρησιμοποίησαν μοντέλα ατόμων σε μόρια, όπως δύο εν επαφή και/ή επικαλυπτόμενους κύκλους για το H_2 . Πολύ λίγοι χρησιμοποίησαν την ελλειψοειδή επιφάνεια ίσης πυκνότητας για το H_2 (βλ. Σχήμα 6.3) ή το μοντέλο υβριδικών τροχιακών sp^3 για το H_2O (βλ. Σχήματα 6.3 και 6.4).



Σχήμα 6.3: Τα σχέδια του φοιτητή #18 ως απάντηση στην ερώτηση Δ.1. Αυτός ο φοιτητής βαθμολογήθηκε 100% για τις δομές για το H_2 και 96% για τις δομές για το H_2O .



Σχήμα 6.4: Τα σχέδια του φοιτητή #16 ως απάντηση στην ερώτηση Δ.1. Αυτός ο φοιτητής βαθμολογήθηκε 50% για τις δομές για το H_2 και 93% για τις δομές για το H_2O .

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα περιγραφικής στατιστικής: Ποσοστό επίδοσης στις μεμονωμένες ερωτήσεις και συνολική απόδοση στο θέμα Δ.

Ερώτηση	Δ.1	Δ.2	Δ.3	Δ.4	Σύνολο
Ποσοστό	37,3%	57,9%	55,0%	51,8%	52,9%
τ.α.	22,7%	18,1%	26,9%	31,3%	16,5%
Μεγαλύτερος βαθμός	97%	89%	80%	93%	77%
Ελάχιστος Βαθμός	10%	7%	0%	0%	15%
Διάμεσος	30,0%	59,6%	70,0%	60,0%	54,9%

Τα Σχήματα 6.3 και 6.4 δείχνουν τις δύο καλύτερες απαντήσεις (97 και 80% αντίστοιχα) στην ερώτηση Δ.1, οι οποίες δόθηκαν από τους φοιτητές #18 (Σχήμα 6.3) και #16 (Σχήμα 6.4). Σημειώστε ότι ο μαθητής #18 κατετάγη πρώτος με βαθμολογία 77,4% και ο φοιτητής #16 κατετάγη τέταρτος με βαθμολογία 73,4% συνολικά στο θέμα Δ του συνολικού τεστ.

6.3.6. Η ερώτηση Δ.2

Η συγκεκριμένη ερώτηση αποτελούταν από πέντε υποερωτήματα. Το 1^ο υποερώτημα ζητούσε να προσδιοριστεί το κατιόν και το ανιόν για την χημική ένωση LiH και κατόπιν (με τη βοήθεια επιφανειών ίσης πυκνότητας) να εξηγηθεί γιατί η χημική ένωση LiH είναι ιοντική. Το 2^ο υποερώτημα ζητούσε από τους φοιτητές να πουν τι δείχνουν οι χρωματικές διαφορές στα υδραλογόνα HCl, HBr και HI. Το 3^ο υποερώτημα ζητούσε να υποδειχθεί ποιες δομές (από τις δοθείσες οπτικές αναπαραστάσεις) δείχνουν πολικότητα χημικού δεσμού. Το 4^ο υποερώτημα ζητούσε να υποδειχθεί ποιες δομές (από τις δοθείσες οπτικές αναπαραστάσεις) δείχνουν την ύπαρξη συνέχειας μεταξύ ομοιοπολικού και ιοντικού δεσμού και αιτιολόγηση. Και τέλος το 5^ο υποερώτημα ζητούσε να αναφερθούν δύο χαρακτηριστικά που μας βοηθά να κατανοήσουμε το χρώμα των ΟΑ.

Ο Πίνακας 6.2 δείχνει τα αναλυτικά στατιστικά στοιχεία. Οι φοιτητές είχαν καλές επιδόσεις στα υποερωτήματα Δ.2ε και Δ.2γ (82,7 και 73,2% αντίστοιχα). Στο 5^ο υποερώτημα (Δ.2ε) οι περισσότεροι μαθητές έδωσαν καλές απαντήσεις. Για τα υπόλοιπα τρία υποερωτήματα οι μέσοι όροι των βαθμολογικών επιδόσεων ήταν της τάξεως του 50% και κάτω.

Πίνακας 6.2: Οι % βαθμολογικές επιδόσεις στα πέντε υποερωτήματα της ερώτησης Δ₂.

Υποερώτημα	Δ.2α	Δ.2β	Δ.2γ	Δ.2δ	Δ.2ε
Ποσοστό	47,9%	50,2%	73,2%	46,3%	82,7%
τ.α.	25,1%	24,7%	25,4%	30,8 %	24,7%
Μεγαλύτερος βαθμός	85%	100%	100%	85% (τρεις φορές)	100% (16 φορές)
Ελάχιστος Βαθμός	0%	10%	0%	0% (έξι φορές)	0%
Διάμεσος	50,0%	45,0%	75,0%	50,0%	100%

6.3.7. Η ερώτηση Δ.3

Στην ερώτηση αυτή δίνονταν οι οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών για δύο οργανικά μόρια που είχαν παρόμοιες δομές, CH₃Cl και CH₃Li. Ζητούνταν από τους

φοιτητές να πουν ποια ΟΑ αντιστοιχούσε στο μεθυλλίθιο (CH_3Li) και ποια στο χλωρομεθάνιο (CH_3Cl), αιτιολογώντας και τις απαντήσεις τους (βλ. Σχήμα 6.1).

Ο μέσος όρος σε αυτή την ερώτηση ήταν 55,0%. Μια πλήρης απάντηση θα έπρεπε να περιλαμβάνει όχι μόνο τις πολικότητες των δεσμών (με βάση τους χρωματισμούς) αλλά και μια σύγκριση μεταξύ του μεγαλύτερου νέφους ηλεκτρονίων του Cl [στη δομή (α)] σε σύγκριση με αυτό του Li [στη δομή (β)]. Το ερώτημα αυτό συνδυάζει τόσο τις πολικότητες των δεσμών όσο και τα ατομικά μεγέθη. Επίσης αναφέρεται στο κατιόν λιθίου (Li^+) και στον ιοντικό δεσμό στο CH_3Li .

6.3.8. Η ερώτηση Δ.4

Η ερώτηση Δ.4 ζητούσε να συγκριθούν οι οπτικές αναπαραστάσεις του μορίου του υδρογόνου και του μορίου του νερού που είχαν σχεδιάσει οι φοιτητές όταν απάντησαν στην 1^η ερώτηση με τις αντίστοιχες έγχρωμες κβαντομηχανικές ΟΑ. Συγκεκριμένα, ζητήθηκαν τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα των δύο οπτικών αναπαραστάσεων. Έξι φοιτητές δεν απάντησαν καθόλου σε αυτή την ερώτηση. Πολλοί φοιτητές έδωσαν περισσότερο ή λιγότερο εκτενείς απαντήσεις, καλύπτοντας διάφορες πτυχές και απόψεις. Πολλοί φοιτητές υποστήριξαν τις έγχρωμες κβαντομηχανικές ΟΑ, αν και αρκετοί συνειδητοποίησαν ότι έχουν περιορισμούς και είναι απλώς συμπληρωματικές σε σχέση με τις παραδοσιακές ΟΑ. Μερικοί φοιτητές πρότειναν ότι οι ΟΑ είναι πιθανό να είναι καταλληλότερες για μεγαλύτερους φοιτητές και ένας φοιτητής πρότεινε ότι αυτές οι ΟΑ ήταν κατώτερες σε σχέση με τις παραδοσιακές ΟΑ.

6.3.9. Συμπεράσματα της έρευνας των Tsaparlis et al. (2021)

Πρώτα από όλα θα δούμε μεμονωμένα τα ερευνητικά ερωτήματα που είχαν τεθεί:

EE1: Σε ποιο βαθμό οι έγχρωμες στατικές ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές να συμπεράνουν για τον τύπο του δεσμού σε διάφορα μόρια;

Γενικά οι φοιτητές φαίνεται να τα πηγαίνουν καλά στους μη πολικούς και πολικούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Για το υποερώτημα Δ.2γ είχαμε σχετικά υψηλό μέσο όρο (73,2%). Το υποερώτημα Δ.2α (ιοντικός δεσμός του LiH) προκάλεσε δυσκολίες (μέσος όρος βαθμολογίας: 47,9%).

EE2: Σε ποιο βαθμό οι έγχρωμες στατικές ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές να εξηγήσουν τη μεταβολή της πολικότητας του δεσμού σε διάφορα μόρια;

Όσον αφορά την παροχή επεξηγήσεων (υποερώτημα Δ2.β), ο μέσος όρος μειώθηκε από 73,2% (βλ. παραπάνω, ΕΕ1) σε 50,2%. Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι φοιτητές συνάντησαν δυσκολίες και απλώς περιορίστηκαν στο να λάβουν υπόψη μόνο έναν παράγοντα, πτυχή ή χαρακτηριστικό.

ΕΕ3: Σε ποιο βαθμό οι έγχρωμες στατικές ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές να αξιολογήσουν τη διαφορά μεγέθους μεταξύ ενός ατόμου και του αντίστοιχου ιόντος;

Με βάση τις απαντήσεις που έδωσαν οι φοιτητές φαίνεται ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό κατανόησε τη σημασία του μεγέθους. Αυτό που φάνηκε ότι κέρδισε τις εντυπώσεις των φοιτητών ήταν η χρωματική κλίμακα που σχετίζεται με τις διαφορετικές πολικότητες δεσμών καθώς και τις διαφορές στην ηλεκτραρνητικότητα. Το μέγεθος των ατόμων και των ιόντων να προσέλυσε μόνο περιορισμένη προσοχή.

ΕΕ4: Σε ποιο βαθμό οι έγχρωμες στατικές ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές να κατανοήσουν την έννοια της συνέχειας των τύπων δεσμού (ιοντικού και ομοιοπολικού) και να ξεπεράσουν την κοινή παρανόηση ότι η πολικότητα του δεσμού είναι μόνο χαρακτηριστικό των ομοιοπολικών δεσμών και όχι των ιοντικών;

Το υποερώτημα Δ.2δ που σχετίζεται με αυτό το ερευνητικό ερώτημα έλαβε τη χαμηλότερη μέση βαθμολογία (46,3%) μεταξύ όλων των υποερωτημάτων της ερώτησης. Αυτό δείχνει την εμμονή των φοιτητών σε μια διχοτομική σκέψη μεταξύ ομοιοπολικού και ιοντικού δεσμού.

Σχετικά με την εσφαλμένη αντίληψη ότι η πολικότητα των δεσμών είναι μόνο χαρακτηριστικό των ομοιοπολικών δεσμών και όχι των ιοντικών δεσμών, δεν μπορεί εύκολα να δοθεί μια οριστική απάντηση διότι υπήρξαν περιπτώσεις όπου φοιτητές φάνηκε να έχουν αυτήν την εσφαλμένη αντίληψη. Από την άλλη πλευρά ορισμένοι φοιτητές φάνηκε να πιστεύουν ότι τα ιόντα μπορούν να εμπλέκονται τόσο σε ιοντικούς όσο και σε ομοιοπολικούς δεσμούς.

ΕΕ5: Με ποιους τύπους στατικών ΟΑ για κοινά ομοιοπολικά μόρια, όπως H_2 και H_2O , είναι ήδη εξοικειωμένοι οι φοιτητές;

Γενικά λίγοι φοιτητές ήταν εξοικειωμένοι με οπτικές αναπαραστάσεις που συσχετίζονταν με τα συγκεκριμένα μόρια. Αυτό προκύπτει από τις απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση Δ.1, η οποία και είχε το χαμηλότερο βαθμολογικό μέσο όρο (37,3%) μεταξύ όλων των ερωτήσεων.

ΕΕ6: Πώς συγκρίνονται οι πληροφορίες που μπορούν να λάβουν οι φοιτητές από τις έγχρωμες ΟΑ που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς με τις πληροφορίες που μπορούν να λάβουν από τις ΟΑ με τις οποίες είναι ήδη εξοικειωμένοι;

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι φοιτητές ασχολήθηκαν με τις έγχρωμες κβαντομηχανικές ΟΑ και πολλοί από αυτούς εξέφρασαν θετικές απόψεις για τα χαρακτηριστικά τους. Αυτό προκύπτει από τον συνολικό αριθμό των απαντήσεων που δόθηκαν στην ερώτηση Δ.4 αλλά και από τον υψηλό βαθμολογικό μέσο όρο (82,7%) για το υποερώτημα Δ.2ε. Η μέτρια βαθμολογική επίδοση σε ολόκληρο το ερώτημα Δ (52,9%) μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι πολλοί φοιτητές προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν τις γνώσεις που είχαν ήδη αντί να χρησιμοποιήσουν τη νέα γνώση που περιλάμβανε τις έγχρωμες ΟΑ.

Είναι σημαντικό εδώ να αναφέρουμε ότι οι οπτικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας και αυτό είναι ένα πλεονέκτημα. Από την άλλη όμως σχεδόν κανένας από τους φοιτητές δεν ανέφερε αυτό το χαρακτηριστικό, πιθανώς επειδή οι φοιτητές δεν ήταν ακόμη εξοικειωμένοι με τους κβαντομηχανικούς υπολογισμούς.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το κύριο ερευνητικό ερώτημα ήταν: *Κατά πόσο οι φοιτητές θα μπορούσαν να αποκωδικοποιήσουν και να ενσωματώσουν/συνθέσουν έγχρωμες ΟΑ στις προηγούμενες γνώσεις τους στη χημεία;* Αν και οι φοιτητές ήταν σίγουρα σε θέση να δουλέψουν με αυτές τις οπτικές αναπαραστάσεις, δεν ήταν σαφές εάν όντως τις χρησιμοποιούσαν ή αν αντ' αυτού κατέφευγαν με προηγούμενες τους γνώσεις. Επομένως, δεν είναι πραγματικά σαφές σε ποιο βαθμό αυτές οι ΟΑ βοήθησαν τους φοιτητές.

6.4. Η έρευνά μας για τις Οπτικές Αναπαραστάσεις

Ο ομότιμος καθηγητής Γ. Τσαπαρλής δίδαξε το μάθημα επιλογής «Διδακτική Φυσικών Επιστημών» σε φοιτητές του 1^{ου} έτους, 2^{ου} εξαμήνου στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για το εαρινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2016-17. Μία από τις ερωτήσεις στην τελική εξέταση, του Ιουνίου του 2017, συσχετιζόταν με την παρουσίαση ενός φύλλου, σε power point, που περιείχε έγχρωμες στατικές χημικές δομές, με τη μορφή επιφανειών ίσης πυκνότητας, οι οποίες είχαν προκύψει από

κατάλληλους κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας (Jensen, 2010) (βλ. Παράρτημα 6.1, στο τέλος του κεφαλαίου). Ο εκπαιδευτής έδωσε προφορικές εξηγήσεις και στους φοιτητές μοίρασε από ένα ασπρόμαυρο αντίγραφο αυτού του φύλλου. Η ερώτηση ζητούσε από τους φοιτητές να πουν τη γνώμη τους σχετικά με αυτές τις οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) χημικών δομών. Στη συνέχεια παραθέτουμε την ερώτηση από την παραπάνω εξέταση:

Να μελετήσετε τις οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) διαφόρων χημικών δομών που προέρχονται από κατάλληλους υψηλής ακριβείας κβαντομηχανικούς υπολογισμούς, και να αναφερθείτε σε 2 χαρακτηριστικά, που αυτές οι ΟΑ βοηθούν να κατανοήσουμε. Για κάθε χαρακτηριστικό, να χαρακτηρίσετε τις ΟΑ αυτές ως πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο, χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο ή όχι και τόσο χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο. Επίσης να συγκρίνετε αυτές τις ΟΑ με άλλες αντίστοιχες που έχετε συναντήσει: Οι παρούσες ΟΑ είναι: πολύ ανώτερες / ανώτερες / ούτε ανώτερες ούτε κατώτερες / κατώτερες / πολύ κατώτερες.

6.4.1. Θέματα ηθικής δεοντολογίας

Οι φοιτητές απάντησαν στην ερώτηση ως μέρος της τελικής τους εξέτασης στο μάθημα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, δηλαδή δεν είχαν καμία διαφορετική επιλογή, εκτός από το να λάβουν μέρος. Δεν απαιτούνταν θεσμική άδεια για τη χρήση του επίσημου υλικού εξέτασης στην έρευνα, ωστόσο, οι φοιτητές ενημερώθηκαν ότι η συγκεκριμένη ερώτηση θα χρησιμοποιούνταν ως μέρος μιας εκπαιδευτικής ερευνητικής μελέτης, και έτσι συμφώνησαν να λάβουν μέρος, χωρίς να πιεστούν να το κάνουν. Παρόλο που οι φοιτητές έπρεπε να δώσουν τα ονόματά τους, καθώς η ερώτηση ήταν μέρος της εξέτασης (οι απαντήσεις τους στην ερώτηση ήταν τμήμα της βαθμολογίας του μαθήματος), τούς δηλώθηκε ότι τα ονόματά τους δεν θα αποκαλύπτονταν σε τρίτους.

6.4.2. Μέθοδος ανάλυσης

Οι απαντήσεις στην ερώτηση, που υποβλήθηκαν από όλους τους φοιτητές (συνολικά 15), βαθμολογήθηκαν ανεξάρτητα, χρησιμοποιώντας ένα προετοιμασμένο σχήμα βαθμολόγησης (βλ. παρακάτω), από δύο βαθμολογητές, τον διδάσκοντα το μάθημα και μία ακόμη διδάκτορα της διδακτικής της χημείας, με εμπειρία στην αξιολόγηση γραπτών απαντήσεων. Αρχική συμφωνία στη βαθμολόγηση (μηδενική ή

5% διαφορά μεταξύ των βαθμών) προέκυψε για 11 απαντήσεις (73,3%). Στη συνέχεια για κάθε δείκτη, ανεξάρτητα, παρατηρήθηκαν οι υπόλοιπες 4 απαντήσεις που απέμειναν, και αυτό οδήγησε σε συμφωνία για δύο (2) επιπλέον απαντήσεις. Για τις υπόλοιπες δύο απαντήσεις παρέμειναν αποκλίσεις του 15%, αλλά επετεύχθη συμφωνία μετά από συζήτηση μεταξύ των δύο βαθμολογητών. Στη συνέχεια θα αναφερθούν περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τα δεδομένα και τα κύρια χαρακτηριστικά των απαντήσεων των φοιτητών.

6.4.3. Το βαθμολογικό σχήμα

Για το 1ο χαρακτηριστικό:

15% η αναφορά + 15% η αιτιολόγηση + 10% η απάντηση για παιδαγωγική αξία = 40%

Για το 2ο χαρακτηριστικό:

Παρομοίως (40%)

Για τη σύγκριση με άλλες παραστάσεις:

10% η αναφορά + 10% η αιτιολόγηση = 20%.

Συνολικός βαθμός: 100.

6.4.4. Τα ευρήματα

Ο μέσος όρος σε αυτήν την ερώτηση ($n = 15$) ήταν 69,3% (τ.α. = 20,3%). Ο μεγαλύτερος βαθμός ήταν 100% (μία φορά), ο μικρότερος 35% (δύο φορές) και ο διάμεσος 70%. Ο μέσος όρος πρέπει να συγκριθεί με το μέσο όρο 65,4% (τ.α. = 9,9%) σε ολόκληρο το τεστ που αποτελείται από 9 ερωτήσεις. Επιπλέον, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ αυτής της ερώτησης και ολόκληρου του τεστ είναι $r = 0,621$ ($p = 0,014$), ενώ ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι $\rho = 0,634$ ($p = 0,011$). Στον Πίνακα 6.3 παραθέτουμε τις απαντήσεις στην παραπάνω ερώτηση των πέντε φοιτητών που έλαβαν τους υψηλότερους βαθμούς (μεγαλύτερους του 80%) στην ερώτηση (Μαθητής 1: 100,0%, Μαθητές 2, 3: 90,0%, Μαθητής 4: 85%, Μαθητής 5: 82,5%). Στον πίνακα αυτό δείχνονται σε χωριστά κελιά οι απαντήσεις που αφορούν τα δύο χαρακτηριστικά (α και β) και την παιδαγωγική αξία κάθε χαρακτηριστικού, μαζί με σύγκριση των οπτικών αναπαραστάσεων με άλλες αντίστοιχες που είχαν συναντήσει προηγουμένως οι φοιτητές.

Πίνακας 6.3: Οι πέντε καλύτερες απαντήσεις των φοιτητών (βαθμός μεγαλύτερος του 80%) στην ερώτηση σχετικά με τις οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς. ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Έχει διατηρηθεί η ακριβής διατύπωση των φοιτητών (με προσθήκη διευκρινήσεων από εμάς σε μερικές περιπτώσεις [με πλάγια στοιχεία εντός αγκυλών]).

Φοιτητής	Τα δύο χαρακτηριστικά, στην κατανόηση των οποίων βοηθούν οι οπτικές αναπαραστάσεις	Παιδαγωγική αξία
1 ^α	α) Μόριο H_2 έναντι του μορίου H_2O: Αντιλαμβανόμαστε την πόλωση του δεσμού H-O. Με τη βοήθεια της χρωματικής αναπαράστασης αντιλαμβανόμαστε την κατανομή θετικού και αρνητικού φορτίου. β) HF, HCl, HBr, HI: Αντιλαμβανόμαστε την ιδιότητα που προσδίδει η ηλεκτραρνητικότητα [σε ένα μόριο]. Το F είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το Cl, που είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το Br, που είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το I. Με τη χρωματική εναλλαγή και τον χρωματικό καταμερισμό καταλαβαίνουμε την κατανομή του φορτίου.	Είναι ένα χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο. Η δομή Lewis του νερού δεν είναι τόσο χρήσιμη και είναι κατώτερη της δοθείσας. Είναι ένα πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο, ανώτερο από τις αντίστοιχες δομές Lewis αυτών των μορίων.
2	α) Αυτές οι οπτικές αναπαραστάσεις μας βοηθούν να κατανοήσουμε μεταξύ άλλων: Την αλλαγή στο μέγεθος ενός ατόμου με την αφαίρεση (ή προσθήκη) σε αυτό κάποιου ηλεκτρονίου σε αυτό. β) ... η πόλωση ενός δεσμού.	Αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο (καθώς είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφανής η ελάττωση του μεγέθους του Li με την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου). Επίσης, είναι μια <u>πολύ ανώτερη</u> οπτική αναπαράσταση από αυτή της γραφής της χημικής εξίσωσης: $Li \rightarrow Li^+ + e^-$. Αυτό είναι κάτι που δεν γίνεται συχνά αντιληπτό στους σπουδαστές πριν την

		επαφή τους με αυτές τις Ο.Α. κάτι που τις καθιστά αρκετά χρήσιμες. Η πλησιέστερη Ο.Α. για το ίδιο θέμα που έχουν έρθει [προηγούμενως σε επαφή] οι σπουδαστές είναι οι χημικές εξισώσεις όπως $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Na}^+\text{Cl}^-$, κάτι που δείχνει ότι οι προηγούμενες [οι εικονιζόμενες] Ο.Α. είναι <u>ανώτερες</u> για την κατανόηση της πόλωσης του δεσμού.
3	α) Αρχικά, με τη βοήθεια των Ο.Α. κατανοούμε τη διαφορά στο μέγεθος που υπάρχει ανάμεσα στο άτομο και στο ιόν ενός στοιχείου. β) Ακόμη με τις Ο.Α. γίνονται κατανοητά τα φορτία που υπάρχουν σε διάφορα μόρια (θετικό, αρνητικό, ουδέτερο) το οποίο μας βοηθά να καταλάβουμε καλύτερα την τιμή της ηλεκτρarνητικότητας που χαρακτηρίζει το κάθε μόριο.	Κατά τη γνώμη μου, η κατανόηση του μεγέθους είναι χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο γιατί μας βοηθάει σε διάφορους μηχανισμούς χημικών αντιδράσεων. Κατά τη γνώμη μου, αυτό είναι ένα πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο. Κάποιες άλλες αντίστοιχες αναπαραστάσεις που συναντούμε είναι οι αναπαραστάσεις με τη βοήθεια μοντέλων, τα οποία είναι χρήσιμα για να κατανοήσουμε το μέγεθος των ατόμων αλλά όχι τα φορτία που υπάρχουν, άρα οι Ο.Α. [που παρουσιάζονται] είναι ανώτερες από τα μοντέλα. Ακόμη, χρησιμοποιούμε ως αναπαράσταση πολλές φορές μια χημική αντίδραση [μια χημική εξίσωση], η οποία δεν είναι ικανή να μας δείξει το μέγεθος των ατόμων. Μπορούμε να δούμε τα φορτία, αλλά δεν μπορούμε να καταλάβουμε εύκολα τη διαφορά στην ηλεκτρarνητικότητα. Συμπερασματικά, οι Ο.Α. [που παρουσιάζονται] είναι πολύ ανώτερες.

4	α) Οι οπτικές αναπαραστάσεις λειτουργούν ως χρήσιμα εργαλεία για τους μαθητές, καθώς τους βοηθούν να κατανοήσουν και να οργανώσουν τις γνώσεις τους. Οι Ο.Α. που δόθηκαν διαθέτουν αρκετά χαρακτηριστικά για να μπορέσουν να κατανοήσουν οι μαθητές. Ένα χαρακτηριστικό των Ο.Α. είναι η χρήση χρωματικών διαφορών που μας δείχνουν τη διαφορά πόλωσης των χημικών δεσμών. Για παράδειγμα, το μπλε χρώμα χαρακτηρίζει το θετικό φορτίο και το κόκκινο το αρνητικό φορτίο. β) Επιπλέον, το σχήμα [το μέγεθος] του μορίου βοηθά να καταλάβουμε αν πρόκειται για ένα μόριο ή ιόν, όπως στην περίπτωση του Li και του Li^+, όπου το Li έχει μεγαλύτερο σχήμα [μέγεθος] από το Li^+ που έχει χάσει ένα ηλεκτρόνιο.	Αυτό είναι ένα χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο γιατί βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τη δομή των μορίων και τα φορτία (θετικό ή αρνητικό). Αυτό είναι ένα χρήσιμο παιδαγωγικό μοντέλο διότι δίνει τη δυνατότητα στον μαθητή να κατανοήσει τη διαφορά ανάμεσα στο άτομο και το ιόν του ίδιου στοιχείου. Τέλος, οι παρούσες Ο.Α. είναι ανώτερες [από προηγούμενες που έχω συναντήσει].
5	α) Οι οπτικές αναπαραστάσεις διαφόρων χημικών δομών που προέρχονται από τους κατάλληλους κβαντομηχανικούς υπολογισμούς βοηθούν να κατανοήσουμε το φορτίο του ατόμου. Για παράδειγμα, το άτομο του λιθίου [προφανώς εννοεί το ιόν του λιθίου] είναι μικρότερο σε μέγεθος από ό,τι το ουδέτερο άτομο και το ιόν που έχει θετικό φορτίο είναι χρωματισμένο μπλε. Ενώ το άτομο με αρνητικό φορτίο είναι χρώμα κόκκινο.	Και για τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, οι οπτικές αναπαραστάσεις [που παρουσιάζονται] είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, καθώς βοηθάει τους μαθητές να καταλάβουν καλύτερα και να μπορούν να ξεχωρίσουν το άτομο από το μόριο και το ιόν [εννοεί το άτομο] από το κατιόν. Αυτή η μέθοδος με τη χρήση οπτικών αναπαραστάσεων θα βοηθήσει ιδιαίτερα μαθητές με χαμηλότερες επιδόσεις.

	β) Επίσης, οι Ο.Α. μας βοηθούν να κατανοήσουμε το μέγεθος των ατόμων των μορίων, όπως για παράδειγμα το άτομο H είναι μικρότερο σε σχέση με το μόριο του H ₂ .	Αυτές τις οπτικές αναπαραστάσεις θα τις χαρακτηρίζα ανώτερες σε σύγκριση με άλλες αντίστοιχες που έχω συναντήσει, καθώς είναι περισσότερο διακριτές οι διαφορές ανάμεσα στα άτομα.

^a Ο φοιτητής 1 δεν απάντησε σύμφωνα με την ερώτηση, αλλά ασχολήθηκε με τέσσερα από τα πέντε δεδομένα σετ δομών (βλ. Παράρτημα 6.1). Παραθέτουμε εδώ μέρος της απάντησης αυτού του φοιτητή, όσον αφορά μόνο δύο σειρές δεδομένων. Σημειώστε επίσης ότι αυτός ο φοιτητής ήταν ο μόνος που αναφέρθηκε στο ελλειψοειδές σχήμα του μορίου του υδρογόνου (στην πραγματικότητα ο φοιτητής αναφέρθηκε στο ελλειπτικό σχήμα) έναντι του σφαιρικού του ατόμου του υδρογόνου.

6.4.5. Συζήτηση σχετικά με τις απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση με τις οπτικές αναπαραστάσεις

Να σημειώσουμε ότι οι χημικές γνώσεις αυτών των φοιτητών ήταν ακόμη «ανώριμες», καθώς ήταν απλώς πρωτοετείς φοιτητές (προς το τέλος του πρώτου έτους στο πανεπιστήμιο — η εξέταση δόθηκε στις 9 Ιουνίου 2017), επομένως οι απαντήσεις τους θα πρέπει να κριθούν λαμβάνοντας υπόψη αυτόν τον περιορισμό. Οι χρησιμοποιούμενες Ο.Α. έκαναν βαθιά εντύπωση στους φοιτητές σε σχέση με ορισμένες πτυχές, όπως αυτές παρουσιάζονται παρακάτω. Δεν ελήφθησαν υπόψη οι συχνότητες των διαφόρων απαντήσεων, λόγω του μικρού δείγματος που μελετήθηκε.

- (i) το μέγεθος των ατόμων στα μόρια (H στο H₂).
- (ii) το μέγεθος και το σχήμα των ατόμων και των μορίων (H έναντι H₂).
- (iii) το μέγεθος των ατόμων και των ιόντων (Li έναντι Li⁺).
- (iv) η δομή/γεωμετρία των μορίων
- (v) πολικότητα/πόλωση δεσμού
- (vi) η κατανομή και το σύμβολο του ηλεκτρικού φορτίου στα μόρια.

Επιπλέον, η χρήση χρώματος για να διαχωριστούν οι περιοχές θετικού, αρνητικού και ουδέτερου (ομοιόμορφα κατανεμημένου) φορτίου σε άτομα, ιόντα και μόρια (π.χ. στο άτομο υδρογόνου σε σχέση με το μόριο του νερού ή η διακύμανση της πολικότητας/πόλωσης του δεσμού στα υδραλογόνα) φάνηκαν να είναι πολύ ελκυστικά στους φοιτητές. Μερικοί φοιτητές ανέφεραν ότι οι ΟΑ τους βοηθούν να θυμούνται: το μέγεθος των ατόμων και των μορίων, την κατανομή φορτίου σε ένα μόριο και την πολικότητα/πόλωση του δεσμού. Λίγοι φοιτητές αναφέρθηκαν στη σχέση της

ηλεκτραρνητικότητας με την πολικότητα των μορίων που παρουσιάζονται στις ΟΑ, ενώ μόνο ένας φοιτητής αναφέρθηκε στο ελλειψοειδές σχήμα του μορίου του υδρογόνου έναντι του σφαιρικού σχήματος του ατόμου του υδρογόνου.

Η μεγάλη πλειονότητα των φοιτητών θεώρησε ότι οι ΟΑ που δίνονται είναι ένα χρήσιμο ή πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο. Βρήκαν τις συγκεκριμένες ΟΑ καλύτερες από άλλες οπτικές αναπαραστάσεις που είχαν συναντήσει προηγουμένως (π.χ. φυσικά μοντέλα ατόμων και μορίων, δομές Lewis ή μια χημική εξίσωση όπως $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$), που αποτυγχάνουν να επιδείξουν όλα τα σχετικά χαρακτηριστικά (π.χ. μεγέθη, κατανομή φορτίων, κ.λπ.). Σημειώστε ότι, παρόλο που στις ΟΑ που δόθηκαν δεν συμπεριλήφθηκαν οι κρυσταλλικές δομές, δύο φοιτητές ανέφεραν μια στατική κρυσταλλική δομή (Na^+Cl^-), με τον έναν φοιτητή να την κρίνει κατώτερη και τον άλλο ανώτερη από τις ΟΑ που δόθηκαν.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η διδασκαλία της χημείας στα ελληνικά σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης γίνεται παραδοσιακά με τη βοήθεια του πίνακα, της κιμωλίας και των σχολικών βιβλίων. Δίνεται έτσι ιδιαίτερη προσοχή στο συμβολικό επίπεδο της χημείας (γραφή μοριακών τύπων, χημικών τύπων και χημικών εξισώσεων) και στην επίλυση υπολογιστικών ασκήσεων. Η εμπειρία των Ελλήνων μαθητών για τα φυσικά μοντέλα ατόμων και μορίων τείνει να περιορίζεται σε εικόνες μοντέλων στα σχολικά βιβλία, αλλά γενικά δεν υπάρχει η τάση να δοθεί προσοχή σε αυτά κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Αυτό το γεγονός πιθανώς εξηγεί τη δυσκολία που είχαν οι φοιτητές μας να συγκρίνουν τις ΟΑ που τους δόθηκαν με άλλες ΟΑ με τις οποίες ήταν εξοικειωμένοι. Τέλος, το γεγονός ότι οι απεικονιζόμενες αναπαραστάσεις προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακριβείας είναι ένα πλεονέκτημα, το οποίο ενισχύει τη σπουδαιότητα και τη χρησιμότητά τους. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι κανένας από τους φοιτητές δεν ανέφερε αυτό το χαρακτηριστικό των υπό εξέταση ΟΑ, πιθανώς επειδή οι φοιτητές δεν ήταν ακόμη εξοικειωμένοι με τους κβαντομηχανικούς υπολογισμούς.

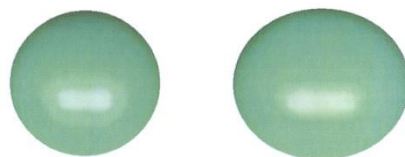
Παράρτημα 6.1: Επιφάνειες ίσης πυκνότητας για χημικές δομές που προκύπτουν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς

Τα παρακάτω σχήματα του φύλλου που ακολουθεί δείχνουν στατικές χημικές δομές που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακριβείας (Jensen, 2010). Το φύλλο αυτό παρουσιάστηκε έγχρωμο σε power-point σε πρωτοετείς φοιτητές χημείας, κατά τη διάρκεια της τελικής εξέτασης του μαθήματος «Διδακτική Φυσικών Επιστημών». Ο διδάσκων έδωσε κατάλληλες προφορικές εξηγήσεις. Σε κάθε φοιτητή δόθηκε ένα ασπρόμαυρο αντίγραφο αυτού του φύλλου. Τα σχήματα σε αυτό το φύλλο εμφανίζουν την πιθανότητα ηλεκτρονιακής πυκνότητας $\rho(\mathbf{r}_1)$:

$$\rho(\mathbf{r}_1) = N \int \dots \int d\mathbf{r}_2 \dots d\mathbf{r}_N |\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)|^2$$

ως χάρτης περιγράμματος ή επιφάνεια ίσης πυκνότητας, δηλαδή η πυκνότητα που ορίζεται από σημεία σταθερής τιμής $\rho(\mathbf{r}_1)$. (N είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων και Ψ είναι η κυματική συνάρτηση). Η πιθανότητα ηλεκτρονιακής πυκνότητας έχει τις διαστάσεις ηλεκτρόνια/όγκος [ηλεκτρόνια /Bohr³ σε ατομικές μονάδες (a.u.)]. Η επιφάνεια ίσης πυκνότητας που αντιστοιχεί σε 0,002 a.u. χρησιμοποιείται πολύ συχνά, καθώς αντιστοιχεί περίπου στους μοριακούς όγκους που μετρήθηκαν για μικρά μόρια ουσιών που βρίσκονται στην αέρια φάση. Στην επιφάνεια ίσης πυκνότητας υπερτίθεται το ηλεκτροστατικό δυναμικό. Το σχήμα δείχνει τα σχετικά μεγέθη ατόμων, ιόντων και μορίων. Επιπλέον, το μπλε χρώμα δείχνει περιοχές θετικού φορτίου, το κόκκινο χρώμα δείχνει περιοχές αρνητικού φορτίου και το πράσινο χρώμα δείχνει περιοχές με ομοιόμορφη κατανομή φορτίου ηλεκτρονίων. Οι τελευταίες περιοχές ονομάζονται περιοχές ουδέτερου φορτίου.

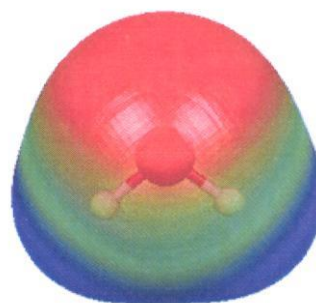
Θεωρητικός (κβαντομηχανικός)
υπολογισμός της γεωμετρίας του ατόμου
του υδρογόνου (H) (αριστερά) και του
μορίου του υδρογόνου (H₂) (δεξιά)



Θεωρητικός (κβαντομηχανικός)
υπολογισμός της γεωμετρίας του
ατόμου του λιθίου (Li) (αριστερά) και
του ιόντος λιθίου (Li⁺) (δεξιά)



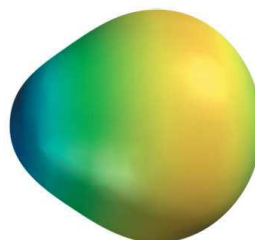
Η δομή του μορίου του υδρογόνου (H₂) (πάνω)
και η δομή του μορίου του νερού (H₂O) (δεξιά),
όπως αυτές υπολογίζονται κβαντομηχανικά.



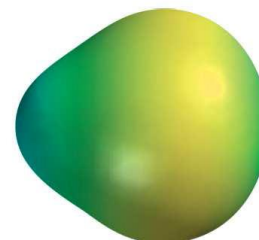
HF



HCl



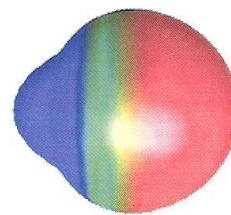
HBr



HI

Οι δομές των μορίων των υδραλογόνων, όπου οι χρωματικές διαφορές δείχνουν τη διαφορά στην πολικότητα του χημικού δεσμού. Οι ηλεκτρονιακές διαφορές είναι 1.9 για το HF, 0.9 για το HCl, 0.7 για το HBr, και 0.4 για το HI.

Η γεωμετρία του συστήματος που αποτελείται από ένα άτομο λιθίου και ένα άτομο υδρογόνου (υδρογονούχο λίθιο, Li-H), όπως υπολογίζεται κβαντομηχανικά.



Φύλλο με χημικές δομές που προκύπτουν από κβαντομηχανικούς υπολογισμούς υψηλής ακριβείας (Jensen, 2010). Αυτά τα στατικά έγχρωμα σχήματα ελήφθησαν από τη διεύθυνση <http://www.flickr.com/photos/molmodbasics> με την άδεια του συγγραφέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1. Οι εναλλακτικές ιδέες / παρανοήσεις στους χημικούς δεσμούς

Ο χημικός δεσμός αποτελεί ένα δύσκολο θέμα όχι μόνο για τους μαθητές και τους φοιτητές αλλά και για τους ίδιους τους εκπαιδευτικούς που καλούνται να το διδάξουν με τρόπο που μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό χωρίς ωστόσο να δημιουργήσει παρανοήσεις. Πολλές φορές κατά τη διδασκαλία του χημικού δεσμού, ειδικά στις μικρότερες τάξεις, χρησιμοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς υπεραπλουστεύσεις, οι οποίες οδηγούν σε εναλλακτικές ιδέες/παρανοήσεις από τους μαθητές. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι παρανοήσεις αυτές παραμένουν και είναι δύσκολο να αντικατασταθούν ακόμη και κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών ενός φοιτητή. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι κυριότερες παρανοήσεις που σχετίζονται με τους χημικούς δεσμούς είναι οι εξής:

- Ο ιοντικός δεσμός αναφέρεται απλώς ως μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ διαφορετικών ατόμων, με σκοπό αυτά να αποκτήσουν συμπληρωμένη στοιβάδα σθένους.
- Οι διαμοριακοί δεσμοί είναι ισχυρότεροι από τους ενδομοριακούς.
- Ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός παρουσιάζονται ως εντελώς διαφορετικοί δεσμοί και όχι ως ένα συνεχές δεσμών.
- Η έννοια του μορίου συσχετίζεται και με τον ιοντικό δεσμό.
- Η πλήρως συμπληρωμένη στοιβάδα σθένους (συνήθως με οκτώ ηλεκτρόνια) είναι απαραίτητη για να οδηγήσει σε σταθερότητα.
- Η «ηλεκτραρνητικότητα», η «πολικότητα δεσμού» και οι «δομές Lewis» συσχετίζονται από πολλούς μαθητές μόνο με τον ομοιοπολικό δεσμό, αλλά όχι με τον ιοντικό δεσμό.
- Μόνο ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός θεωρούνται ως «πραγματικοί» χημικοί δεσμοί. Οι περισσότεροι διαμοριακοί δεσμοί θεωρούνται απλώς ως δυνάμεις.

7.2. Η διδακτική παρέμβαση

Από την έρευνα στην ενότητα του χημικού δεσμού, που πραγματοποιήθηκε τη σχολική χρονιά 2014 – 2015 σε γενικό λύκειο δημοσίου σχολείου, μικρής επαρχιακής πόλης, με 78 μαθητές τεσσάρων τμημάτων της Α΄ τάξης Λυκείου (ηλικίες 15 – 16 ετών) (όπου τα τέσσερα τμήματα χωρίστηκαν σε τμήματα «ελέγχου» και τμήματα «μεθοδολογίας»), προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Γενικά οι μαθητές δυσκολεύτηκαν στη γραπτή δοκιμασία (τεστ) που πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας του κεφαλαίου των χημικών δεσμών (βλ. Κεφάλαιο 3) και λίγοι μαθητές είχαν πολύ καλές επιδόσεις. Από αυτό προκύπτει ότι οι μαθητές δυσκολεύονται στην κατανόηση του χημικού δεσμού. Ένας λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι αρκετοί μαθητές δεν έχουν κατανοήσει από το γυμνάσιο έννοιες που είναι βασικές για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού στο λύκειο. Ως παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε το άτομο, το μόριο, το ιόν, τα υποατομικά σωματίδια, τα μέταλλα, τα αμέταλλα κ.ά. Αν σε αυτό προσθέσουμε ότι ο χημικός δεσμός είναι ένα δύσκολο θέμα (ακόμη και για τους εκπαιδευτικούς που καλούνται να το διδάξουν) έχοντας στη διάθεσή τους λίγες διδακτικές ώρες, τότε γίνεται κατανοητό ότι οι περισσότεροι μαθητές θα συναντήσουν δυσκολίες στην σωστή κατανόησή του.
2. Οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να απαντήσουν θέματα που απαιτούσαν περισσότερο κριτική σκέψη παρά ό,τι απαιτούσε απομνημόνευση (για παράδειγμα την διατύπωση του κανόνα της οκτάδας) ή κάτι το οποίο θα μπορούσαν να μάθουν με μηχανικό τρόπο (για παράδειγμα την κατανομή ηλεκτρονίων σε στιβάδες για τα άτομα που δεν έχουν πολλά ηλεκτρόνια).
3. Οι επιδόσεις των μαθητών στο τεστ δεν φάνηκε να διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των τμημάτων ελέγχου και των τμημάτων μεθοδολογίας. Σε ορισμένες όμως ερωτήσεις, στις οποίες αναμένεται ότι η διδακτική παρέμβαση μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές στις απαντήσεις τους, παρατηρήσαμε διαφορές. Πιο συγκεκριμένα στην ερώτηση 3Α (ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις) οι μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας απάντησαν λίγο καλύτερα σε σχέση με τους μαθητές των τμημάτων ελέγχου. Όμως, στην ερώτηση 3Β (ηλεκτραρνητικότητα) και στις ερωτήσεις 4Α και 4Β (πολικότητα δεσμού) είχαμε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις επιδόσεις

των μαθητών των τμημάτων μεθοδολογίας και των τμημάτων ελέγχου – τα τμήματα μεθοδολογίας εμφάνισαν πολύ καλύτερες επιδόσεις.

4. Στην προφορική συνέντευξη που πραγματοποιήθηκε με τους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας με τις καλύτερες επιδόσεις, αυτοί απάντησαν ότι κατανόησαν το υλικό με τα έγχρωμα σχήματα που τους δόθηκε και σε γενικές γραμμές απάντησαν σωστά σε προφορικές ερωτήσεις (κατά τη διάρκεια της συνέντευξης) που σχετίζονταν με το έντυπο υλικό που τους είχε δοθεί. Τέλος όλοι οι μαθητές απάντησαν ότι βρήκαν χρήσιμα τα έγχρωμα σχήματα και πρότειναν ότι θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στο σχολικό βιβλίο.

7.3. Η διδακτική μεταφορά στη διδασκαλία του χημικού δεσμού

Με βάση τη συγκριτική ανάλυση των συγγραμμάτων του Atkins και της Αμερικάνικης Εγκυκλοπαίδειας Χημείας⁹ προέκυψε μια σειρά θεμάτων (17 «σημείων»). Μετά την σύγκριση των δύο παραπάνω συγγραμμάτων, ακολούθησε η παρουσίαση και η σύγκριση άλλων τεσσάρων συγγραμμάτων μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ως βάση τα 17 «σημεία». Προέκυψαν οι παρακάτω παρατηρήσεις, που αφορούν τα παραπάνω βιβλία:

- ❖ Όλα τα βιβλία εισάγουν πρώτα την έννοια του ιοντικού και κατόπιν του ομοιοπολικού δεσμού.
- ❖ Σε όλα τα βιβλία, εκτός από ένα, αναφέρεται ο μεταλλικός δεσμός.
- ❖ Στα περισσότερα βιβλία αναφέρεται ο ημιπολικός δεσμός.
- ❖ Σε τρία βιβλία αναφέρεται η ύπαρξη συνέχειας μεταξύ των δεσμών.
- ❖ Η έννοια της ηλεκτραρνητικότητας αναφέρεται σε όλα τα βιβλία, εκτός από ένα, αλλά εισάγεται με διαφορετικό τρόπο.
- ❖ Ο κανόνας της οκτάδας αναφέρεται σε όλα τα βιβλία.
- ❖ Σε δύο βιβλία δεν παρουσιάζονται καθόλου ενεργειακά διαγράμματα του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού. Σε δύο άλλα παρουσιάζονται μόνο για τον ομοιοπολικό δεσμό και στα υπόλοιπα δύο και για τους δύο παραπάνω δεσμούς.

⁹ L.J. Lagowski (Ed.), Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia). MacMillan, 2004. Vol. 1, Vol. 3, Vol. 4.

- ❖ Η κρυσταλλική και η μοριακή δομή του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού αντίστοιχα, αναφέρεται σε τέσσερα βιβλία.
- ❖ Κατά την μελέτη του ιοντικού δεσμού, αναφορά στην ύπαρξη δυνάμεων Coulomb γίνεται σε τρία βιβλία, ενώ κατά την μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού σε κανένα βιβλίο δεν γίνεται αφορά στις δυνάμεις Coulomb. Η ηλεκτροστατική φύση του ιοντικού δεσμού περιγράφεται σε πέντε βιβλία.
- ❖ Η αναφορά στις δομές Lewis γίνεται κυρίως κατά τη μελέτη του ομοιοπολικού δεσμού, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις γίνεται αναφορά στην ύπαρξη κοινών ζευγών ηλεκτρονίων κατά τον σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού. Η θεωρία VSEPR παρουσιάζεται σε τρία βιβλία.
- ❖ Η έννοια ατομική ακτίνα αναφέρεται σε τέσσερα βιβλία, ενώ η ενέργεια πλέγματος αναφέρεται σε δύο κατά την περιγραφή του ιοντικού δεσμού.
- ❖ Αναφορά στη θεωρία του δεσμού σθένους γίνεται σε τέσσερα βιβλία, ενώ η θεωρία των μοριακών τροχιακών αναφέρεται σε τρία.
- ❖ Αναφορά στην έννοια του υβριδισμού γίνεται σε τρία βιβλία.
- ❖ Η αρχή της ηλεκτρονιακής δόμησης (aufbau) αναφέρεται σε τρία βιβλία.
- ❖ Τα τροχιακά s, p, d, f, καθώς και τα σχήματα αυτών παρουσιάζονται σε τέσσερα βιβλία, ενώ αναφορά στον τρόπο δημιουργίας των δεσμών «σ» και «π» γίνεται σε τρία βιβλία.
- ❖ Οι έννοιες της τάξης δεσμού και του συντονισμού σε ένα μόριο παρουσιάζονται μόνο σε ένα βιβλίο, ενώ σε δύο άλλα βιβλία γίνεται αναφορά μόνο στην έννοια του συντονισμού.

Θα πρέπει τέλος να αναφέρουμε ότι από τα βιβλία τα οποία παρουσιάστηκαν και συγκρίθηκαν, δύο από αυτά είναι τα σχολικά βιβλία που διδάσκονται στην α' και γ' τάξη του ελληνικού γενικού λυκείου, επομένως έννοιες που μελετήθηκαν στο βιβλίο της α' τάξης (για παράδειγμα ο ιοντικός και ο ομοιοπολικός δεσμός) δεν ξαναπαρουσιάζονται στο σχολικό βιβλίο της γ' τάξης.

7.4. Οι μεταγνωστικές ερωτήσεις

7.4.1. Οι απαντήσεις των μαθητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις

Πραγματοποιήθηκε έρευνα με μαθητές α΄ τάξης γενικών λυκείων, με βάση τις δύο παρακάτω μεταγνωστικές ερωτήσεις:

- (1) *Ποιος δεσμός, ο ιοντικός ή ο ομοιοπολικός, έχει προκαλέσει περισσότερες δυσκολίες για την κατανόησή του; Δηλώστε επίσης την αιτιολόγησή σας.*
- (2) *Να αναφέρετε 1 ή 2 δυσκολίες που αντιμετωπίσατε κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών.*

Από τις απαντήσεις των μαθητών βρέθηκε ότι σχεδόν οι μισοί θεώρησαν τον ομοιοπολικό δεσμό δυσκολότερο (σε σχέση με τον ιοντικό). Περίπου ένας στους πέντε μαθητές θεώρησε τον ιοντικό δεσμό δυσκολότερο. Κάποιες χαρακτηριστικές δυσκολίες, όπως αναφέρονται από τους ίδιους τους μαθητές, στην κατανόηση του ομοιοπολικού δεσμού είναι:

- έχει περισσότερα χαρακτηριστικά
- έχει πολλές λεπτομέρειες και ασάφειες
- έχει τόσες πολλές ειδικές περιπτώσεις
- έχει δύσκολη εφαρμογή
- είναι πιο περίπλοκος γιατί πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Lewis,
- διδάσκεται δεύτερος και μπερδεύεται φορές με τον ιοντικό δεσμό, ενώ υπάρχουν δυσκολίες που σχετίζονται με: την αμοιβαία συνεισφορά, τα πολωμένα και τα δίπολα μόρια, τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων, τον κανόνα της οκτάδας κ.ά.

Ορισμένες χαρακτηριστικές δυσκολίες, όπως αναφέρονται από τους ίδιους τους μαθητές, στην κατανόηση του ιοντικού δεσμού είναι:

- έχει περισσότερα χαρακτηριστικά από τον ομοιοπολικό δεσμό
- περιέχονται δυσκολότεροι όροι και γενικά περισσότερες λεπτομέρειες
- ακολουθείται περίπλοκη διαδικασία που οδηγεί στο τελικό αποτέλεσμα
- υπάρχει δυσκολία στη διάκριση των ανιόντων από τα κατιόντα κ.ά.

Όπως είναι και λογικό οι λόγοι δυσκολίας που σχετίζονται με τον ομοιοπολικό δεσμό είναι περισσότεροι.

Όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να αναφέρουν δυσκολίες που αντιμετώπισαν κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών (2^η μεταγνωστική ερώτηση), ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών (περίπου ένας στους τέσσερις μαθητές) σχεδόν δεν απάντησαν στην ερώτηση, το 30,3% των μαθητών ανέφεραν δυσκολίες που σχετίζονται με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα, π.χ. πολικότητα, ηλεκτρονιακή δομή κ.ά., για το 42,4% των μαθητών καταγράφηκαν γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας και τέλος μόνο 2 μαθητές (3%) ανέφεραν δυσκολίες που αφορούν τη δομή του κεφαλαίου των χημικών δεσμών.

7.4.2. Οι απαντήσεις των φοιτητών στις δύο μεταγνωστικές ερωτήσεις

Η ίδια έρευνα πραγματοποιήθηκε και με πρωτοετείς φοιτητές. Όπως και οι μαθητές οι περισσότεροι φοιτητές απάντησαν ότι θεωρούν τον ομοιοπολικό δεσμό δυσκολότερο (σε σχέση με τον ιοντικό) σε ποσοστό 54,8%. Μόνο το 17,8% θεώρησαν τον ιοντικό δεσμό ως δυσκολότερο. Κάποιες χαρακτηριστικές δυσκολίες, όπως αναφέρονται από τους ίδιους τους φοιτητές, στην κατανόηση του ομοιοπολικού δεσμού είναι:

- έχουν περισσότερες κατηγορίες (πολικοί, μη πολικοί, ημιπολικοί), λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου σε σύγκριση με τον ιοντικό δεσμό
- στο σχηματισμό των τύπων κατά Lewis, όσον αφορά την επικάλυψη των ατομικών τροχιακών, ειδικά ο ημιπολικός ήταν πιο δύσκολος γιατί είχε λιγότερα παραδείγματα για την κατανόησή του
- δεν ήταν σαφές πόσοι δεσμοί δημιουργούνται ανάμεσα στα άτομα κ.ά.

Ορισμένες χαρακτηριστικές δυσκολίες, όπως αναφέρονται από τους ίδιους τους φοιτητές, στην κατανόηση του ιοντικού δεσμού είναι:

- είναι πιο περίπλοκος
- είναι δυσκολότερο στο να απεικονιστεί, λόγω της δυσκολότερης έννοιας του
- περιγράφεται με περισσότερες έννοιες
- στο σχηματισμό της δομής του κατά Lewis κ.ά.

Όπως και στην περίπτωση των μαθητών, έτσι και με τους φοιτητές, είναι λογικό οι λόγοι δυσκολίας που σχετίζονται με τον ομοιοπολικό δεσμό να είναι περισσότεροι.

Όταν ζητήθηκε από τους φοιτητές να αναφέρουν δυσκολίες που αντιμετώπισαν κατά την μελέτη του κεφαλαίου των δεσμών, ένα σημαντικό ποσοστό των φοιτητών,

το 37%, (το οποίο είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο των μαθητών) σχεδόν δεν απάντησαν στην ερώτηση, το 43,8% των φοιτητών ανέφεραν δυσκολίες που σχετίζονται με συγκεκριμένες έννοιες και θέματα, π.χ. «κανόνας των οκτώ», δομές Lewis κ.ά., ενώ για το 19,2 % των φοιτητών καταγράφηκαν γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες ή την έλλειψη δυσκολίας.

Τέλος με βάση την ειδική ταξινόμηση σύμφωνα με τις τέσσερις κατηγορίες της μεταγνώσης του Flavell, οι περισσότερες απαντήσεις που δίνουν τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές ανήκουν στην κατηγορία της μεταγνωστικής γνώσης (metacognitive knowledge, MCK), ακολουθεί η κατηγορία της μεταγνωστικής εμπειρίας (metacognitive experience, MCE), ενώ στις κατηγορίες έργα και στόχοι (tasks and goals, T & G), στρατηγικές ή ενέργειες (strategies/actions, S /A) ταξινομήθηκαν λίγες απαντήσεις.

7.5. Οπτικές αναπαραστάσεις χημικών δομών

Οι οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) που απεικονίζουν επιφάνειες ίσης ηλεκτρονικής πυκνότητας/χάρτες ηλεκτροστατικού δυναμικού για χημικές δομές που προκύπτουν από ακριβείς κβαντομηχανικούς υπολογισμούς έκαναν μεγάλη εντύπωση στους φοιτητές σε σχέση με ορισμένα χαρακτηριστικά όπως: το μέγεθος των ατόμων στα μόρια, η πολικότητα/πόλωση δεσμού, η δομή/γεωμετρία των μορίων κ.ά. Επίσης η χρήση χρωματικών περιοχών, διαφορετικών για κάθε είδος φορτίου (θετικού, αρνητικού και ουδέτερου) σε άτομα, ιόντα και μόρια φάνηκε ότι προσέκλυσε το ενδιαφέρον των φοιτητών. Ορισμένοι φοιτητές ανέφεραν ότι οι συγκεκριμένες οπτικές αναπαραστάσεις τους βοήθησαν στην απομνημόνευση: του μεγέθους των ατόμων και των μορίων, της κατανομής ηλεκτρικού φορτίου σε ένα μόριο και της πόλωσης του χημικού δεσμού.

Όσον αφορά την παιδαγωγική αξία των συγκεκριμένων οπτικών αναπαραστάσεων, οι περισσότεροι φοιτητές τις χαρακτήρισαν ως ένα χρήσιμο ή πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο και τις θεώρησαν ως καλύτερες σε σχέση άλλες οπτικές αναπαραστάσεις που είχαν συναντήσει προηγουμένως.

7.6. Διδακτικές προτάσεις

Σε έρευνες που έχουν γίνει τόσο με μαθητές όσο και με φοιτητές, έχουν εντοπιστεί πολλές παρανοήσεις και εναλλακτικές ιδέες που σχετίζονται με το κεφάλαιο του χημικού δεσμού. Οι δυσκολίες που συναντούν οι εκπαιδευόμενοι και οι παρανοήσεις που δημιουργούνται συσχετίζονται με τον τρόπο διδασκαλίας από τους εκπαιδευτικούς, αλλά και με τη δομή που έχουν τα διάφορα εγχειρίδια όσον αφορά το κεφάλαιο του χημικού δεσμού.

7.6.1. Διδακτικές προτάσεις με βάση τη διδακτική παρέμβαση

Ορισμένες διδακτικές προτάσεις οι οποίες προτείνονται από ερευνητές και που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της διδακτικής μας παρέμβασης είναι οι εξής:

1. Έμφαση στις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις στους περισσότερους τύπους δεσμών.
2. Αποφυγή του κανόνα της οκτάδας ως του αποκλειστικού αιτιολογικού παράγοντα για τη δημιουργία ενός χημικού δεσμού. Μπορεί απλώς να χρησιμοποιείται ως μια μέθοδος επαλήθευσης για την σταθερότητα ενός χημικού δεσμού, τονίζοντας παράλληλα στους μαθητές ότι υπάρχουν και εξαιρέσεις από τον συγκεκριμένο κανόνα.
3. Συσχέτιση της σταθερότητας ενός χημικού δεσμού με το ενεργειακό του περιεχόμενο.
4. Αντιμετώπιση των χημικών δεσμών (πολωμένου/μη πολωμένου ομοιοπολικού δεσμού και ιοντικού δεσμού) ως ενός συνεχούς δεσμών και όχι ως εντελώς διαφορετικές περιπτώσεις.
5. Αποφυγή ή περιορισμός της χρήσης ανθρωπομορφικής γλώσσας (π.χ. το άτομο του νατρίου θέλει να αποβάλει ένα ηλεκτρόνιο έτσι ώστε να έχει συμπληρωμένη την εξωτερική του στοιβάδα), η οποία πολλές φορές δημιουργεί σύγχυση στους μαθητές.
6. Συνιστάται πριν από τη διδασκαλία των χημικών δεσμών να γίνει μια εισαγωγή στις ηλεκτρικές δυνάμεις Coulomb, η οποία θα βοηθήσει τους μαθητές να θυμηθούν έννοιες που ήδη γνωρίζουν.
7. Αρχίζουμε την διδασκαλία των χημικών δεσμών με τον μη πολωμένο ομοιοπολικό δεσμό, κατόπιν συνεχίζουμε στον πολωμένο ομοιοπολικό και εξετάζουμε τον ιοντικό δεσμό στο τέλος. Η παραπάνω σειρά θα βοηθήσει να

μελετηθούν οι χημικοί δεσμοί υπό το πρίσμα της συνέχειας και θα περιορίσει τις δυσκολίες και τις παρανοήσεις των μαθητών στην έννοια του χημικού δεσμού.

7.6.2. Διδακτική πρόταση με βάση την προσέγγιση καταστάσεων της ύλης (SOMA)

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πρόταση για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού στη χημεία της α' λυκείου συνδέεται με την προσέγγιση καταστάσεων της ύλης (SOMA),¹⁰ Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, με βάση την προσέγγιση SOMA έχει συνταχθεί διδακτικό πειραματικό υλικό (Πύργας, 2006; Pyrgas & Tsaparlis, 2010; Tsaparlis & Pyrgas, 2012), το οποίο είναι διαθέσιμο στον Κόμβο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΚοΔιΦΕΕΤ):

<http://kodipheet.chem.uoi.gr/sxbibliaxhmeias.php>

Παραθέτουμε παρακάτω τα περιεχόμενα του υλικού αυτού, όπου με μαύρα στοιχεία επισημαίνονται τα σχετικά με τους χημικούς δεσμούς θέματα:

Ενότητα Α (Ο αέρας, τα αέρια και η αέρια κατάσταση):

- Αέρας – Ιδιότητες
- Αέρια μείγματα – Μείγμα, συστατικό, χημικό στοιχείο
- Άτομα: Δομή, ισότοπα
- Ο περιοδικός πίνακας
- Το μόριο του υδρογόνου, Ιδανικά αέρια
- Ο ομοιοπολικός δεσμός (μη πολωμένος και πολωμένος)
- Πολικότητα δεσμού
- Οι δομές Lewis στα μόρια
- Πραγματικά αέρια - Δεσμοί Van der Waals και London

Ενότητα Β (Το αλάτι, τα άλατα και η στερεά κατάσταση):

- Άλατα, Άλατα – Κρυσταλλική δομή και ιοντικός δεσμός
- Μοριακά στερεά (πάγος, ιώδιο)
- Η δομή του πάγου – Μόνιμα δίπολα – Δεσμός υδρογόνου
- Η δομή του ιωδίου – Παροδικά δίπολα - Δεσμοί Van der Waals

¹⁰ Διδακτικό πειραματικό υλικό για τη χημεία της α' λυκείου με βάση την προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης (SOMA). Διαθέσιμο στον Κόμβο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΚοΔιΦΕΕΤ):

<http://kodipheet.chem.uoi.gr/sxbibliaxhmeias.php>

- **Ατομικά (πολυατομικά) στερεά**
- **Μέταλλα - Μεταλλικός δεσμός**

Ενότητα Γ (Το νερό, τα υγρά και η υγρή κατάσταση):

- Υγρή κατάσταση και ιδιότητες
- Ανόργανα υγρά συστατικά
- Υγρά οργανικά υλικά και συστατικά
- **Νερό – Δομή, ασυνήθιστες ιδιότητες του δεσμού υδρογόνου**
- Υγρά διαλύματα. Άλλοι διαλύτες. **Δεσμοί Van der Waals**
- **Υγροποίηση αερίων – Δεσμοί Van der Waals και London**
- Οξέα και βάσεις

7.6.3. Διδακτικές προτάσεις με βάση τη σπειροειδή διδασκαλία του Bruner

Ο χημικός δεσμός εμφανίζει αυξημένο βαθμό δυσκολίας και πολυπλοκότητας. Για το λόγο αυτό, καταλληλότερο για τη διδασκαλία του χημικού δεσμού θα ήταν ένα σπειροειδές πρόγραμμα σπουδών που καλύπτει και τις τρεις τάξεις του λυκείου (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019) – βλ. παρακάτω. Ο Jerome Bruner πρότεινε ότι ένα παιδί οποιασδήποτε ηλικίας είναι ικανό να κατανοήσει περίπλοκες πληροφορίες (Bruner, 1960). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την έννοια του σπειροειδούς προγράμματος σπουδών. Σύμφωνα με αυτό, οι περίπλοκες ιδέες μπορούν πρώτα να εισάγονται και να διδάσκονται σε ένα απλοποιημένο επίπεδο και στη συνέχεια να μελετώνται εκ νέου σε ένα όμως πιο πολύπλοκο επίπεδο. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, όταν διδάσκουμε ένα σύνθετο θέμα, όπως ο χημικός δεσμός, μπορούμε σταδιακά να αυξάνουμε το βαθμό δυσκολίας και πολυπλοκότητας (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).

Κατά το σχεδιασμό ενός σπειροειδούς προγράμματος σπουδών πρέπει καταρχάς να ληφθεί σοβαρά υπόψη η διδασκαλία της χημείας στο γυμνάσιο. Σύμφωνα με τον Τσαπαρλή (1997), κατά την πρώτη επαφή των μαθητών με το μάθημα της χημείας θα πρέπει να διδαχθούν για τα άτομα και τα μόρια ως βασικές δομικές μονάδες, αλλά όχι λεπτομέρειες της ατομικής και μοριακής δομής (π.χ. τα ηλεκτρόνια και οι στιβάδες σθένους). Αργότερα μπορεί να διδαχθεί ο περιοδικός πίνακας και η σύνδεσή του με τους διάφορους τύπους χημικών δεσμών. Ο Alex Johnstone πρότεινε μια άλλη προσέγγιση για την έννοια του χημικού δεσμού στο γυμνάσιο, που δίνει έμφαση στη

διδασκαλία πρώτης της απλής οργανικής χημείας (πριν από την ανόργανη χημεία): το υδρογόνο δημιουργεί έναν δεσμό, το οξυγόνο δημιουργεί δύο δεσμούς, το άζωτο δημιουργεί τρεις δεσμούς και ο άνθρακας δημιουργεί τέσσερις δεσμούς (Johnstone και συν., 1981). Με αυτήν την προσέγγιση οικοδομείται ένα μεγάλο μέρος της στοιχειώδους οργανικής χημείας, επιτρέποντας τη διδασκαλία της πριν από την ανόργανη χημεία, η οποία περιλαμβάνει πολλά χημικά στοιχεία, ιοντικές και μοριακές ενώσεις, πολλούς τύπους δεσμών, πολλά σθένη/αριθμούς οξείδωσης κ.λπ. (βλ. κεφάλαιο 1). Για τη διάκριση μεταξύ ιοντικών και ομοιοπολικών ενώσεων, ο Nelson (1994) πρότεινε τη χρήση του ηλεκτρικού χαρακτήρα (με τη σύγκριση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των τηγμάτων και/ή των διαλυμάτων). Αυτός ο τρόπος διάκρισης μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές γυμνασίου να διακρίνουν τις ιοντικές από τις ομοιοπολικές ενώσεις.

Με βάση τη σπειροειδή προσέγγιση προγράμματος σπουδών, κατά τη διδασκαλία της ενότητας του χημικού δεσμού, στην α' λυκείου μπορούμε να αρκεστούμε σε μια στοιχειώδη μη κβαντομηχανική επεξεργασία, λίγο-πολύ σύμφωνα με το τρέχον σχολικό βιβλίο χημείας α' λυκείου. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη μια σειρά κρίσιμων θεμάτων που σχετίζονται με τις σχετικές παρανοήσεις των μαθητών, όπως αυτές που αφορούν τον ιοντικό δεσμό και η αντιμετώπιση των χημικών δεσμών ως ενός συνεχούς δεσμών, σύμφωνα με το διδακτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε με την ομάδα μεθοδολογίας στη διδακτική παρέμβαση (βλ. Παράρτημα Ι). Όπως έχουμε ήδη αναφέρει οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι απαραίτητες για την κατανόηση τόσο του ιοντικού όσο και του πολικού ομοιοπολικού δεσμού, επομένως η εισαγωγή αυτών των δυνάμεων στα αρχικά στάδια της διδασκαλίας θα ήταν κάτι πολύ χρήσιμο.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί με το συνεχές των τύπων χημικού δεσμού, γιατί αν οι μαθητές κατανοήσουν το χημικό δεσμό ως ένα είδος διχοτομίας μεταξύ του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού, είναι δύσκολο στη συνέχεια να αποβάλουν αυτήν την παρανόηση (Taber, 2008, 2013). Η ηλεκτραρνητικότητα δεν έχει να δείξει κάτι για έναν μη πολικό ομοιοπολικό δεσμό ή για έναν εντελώς ιοντικό δεσμό. Πολλές φορές αναφέρεται ότι εάν η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας, μεταξύ των ατόμων, είναι αρκετά μεγάλη, τότε θα σχηματιστεί ιοντικός δεσμός. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ της ενέργειας ιονισμού για τον σχηματισμό κατιόντος και της ηλεκτρονιοσυγγένειας για τον σχηματισμό ανιόντος απαιτεί πάντα ενέργεια. Ίσως είναι καλύτερο να αναβληθούν, για αργότερα, ορισμένα περίπλοκα ζητήματα, όπως τα διαγράμματα δυναμικής ενέργειας, η φύση του ομοιοπολικού δεσμού, η ποσοτική

χρήση μιας κλίμακας ηλεκτραρνητικότητας (όπως η κλίμακα Pauling) και η χρήση των διαφορών ηλεκτραρνητικότητας για την πρόβλεψη του ποσοστού ιοντικού ή ομοιοπολικού χαρακτήρα σε έναν δεσμό (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).

Στην β' και γ' τάξη του γενικού λυκείου μπορούν να εισαχθούν θέματα σχετικά με ενεργειακά διαγράμματα και την ποσοτική χρήση μιας κλίμακας ηλεκτραρνητικότητας. Τα σχετικά με το κβαντομηχανικό μοντέλο των ατόμων και των μορίων, τα ατομικά και μοριακά τροχιακά (όπως και το μοντέλο VSEPR) και οι διάφοροι τύποι διαμοριακών δεσμών εντάσσονται στην ύλη χημείας γ' λυκείου, ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών και σπουδών υγείας (βλ. κεφάλαιο 1). Ωστόσο, μια λεπτομερής κατανόηση του ρόλου του ηλεκτρονιακού δυναμικού, των κινητικών ενεργειών στους δεσμούς και της φύσης του ομοιοπολικού δεσμού θα απαιτούσε μια κβαντομηχανική επεξεργασία και θα πρέπει να συνεχίσει να διδάσκεται στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Η διδασκαλία ενός σύνθετου θέματος όπως ο χημικός δεσμός θα μπορούσε να ωφεληθεί από τη χρήση **μαθησιακών προόδων** (learning progressions), οι οποίες βασίζονται στην έννοια του σπειροειδούς προγράμματος σπουδών. Οι μαθησιακές πρόοδοι είναι εμπειρικά επικυρωμένες περιγραφές των μονοπατιών που ακολουθούν οι μαθητές, για μεγάλες χρονικές περιόδους, έτσι ώστε να επιτευχθεί μια ανώτερη επιστημονική γνώση ή/και πρακτική (Sevian & Stains, 2013)¹¹. Οι Duschl, Maeng και Sezen-Barrie (2011) εστίασαν σε τέσσερις παραλλαγές στις προσεγγίσεις για τη μελέτη των μαθησιακών προόδων: 1. το θέμα της μαθησιακής προόδου, 2. πώς ορίζονται τα όρια (κάτω και άνω σημεία) της μαθησιακής προόδου, 3. πώς μπορούν να αναπτυχθούν τα ενδιάμεσα επίπεδα και 4. το ρητό ή άρρητο μοντέλο εννοιολογικής αλλαγής που σχετίζεται με τη μαθησιακή πρόοδο.

Σύμφωνα με τους Tsaparlis, Pappa και Byers (2019) μια κατάλληλη βάση για την απαιτούμενη επιστημονική γνώση μπορεί να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια της μελέτης του χημικού δεσμού στην α' τάξη του γενικού λυκείου, ενώ η μετάβαση σε ένα ανώτερο επίπεδο μπορεί στη συνέχεια να επιτευχθεί με τη μελέτη του χημικού δεσμού στην β' και γ' τάξη του γενικού λυκείου. Χρήσιμο επίσης θα ήταν να

¹¹ Σχετικές με τις μαθησιακές προόδους είναι οι λεγόμενες **ακολουθίες διδασκαλίας-μάθησης** (teaching-learning sequences, TLS, βλ. κεφάλαιο 2), οι οποίες ασχολούνται με θεωρητικές προσεγγίσεις στη διδασκαλία και εκμάθηση επιστημονικών θεμάτων και την εξαγωγή αρχών για το σχεδιασμό ακολουθιών και την ανάπτυξη εμπειρικά επικυρωμένων καινοτόμων αλληλουχιών σε διάφορους τομείς. Μια ακολουθία διδασκαλίας-μάθησης χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει «τη στενή σύνδεση μεταξύ της προτεινόμενης διδασκαλίας και της αναμενόμενης μάθησης των μαθητών» (Tsaparlis, Pappa & Byers, 2019).

εξεταστούν τα ενδιάμεσα επίπεδα. Τα ενδιάμεσα επίπεδα θα ακολουθήσουν μόλις καθοριστούν επακριβώς το ανώτερο και κατώτερο επίπεδο. Τα ενδιάμεσα επίπεδα μπορούν να παρασχεθούν στους μαθητές (κυρίως της β' τάξης) μέσα από τις πολυάριθμες εφαρμογές των εννοιών του χημικού δεσμού στη μελέτη ανόργανων και οργανικών ενώσεων, της δομή τους, τις φυσικές τους ιδιότητες και τη χημική τους δραστηριότητα (βλ. Πίνακα 7.1).

Πίνακας 7.1: Κατάλογος προτεινόμενων βασικών εννοιών, «εννοιών-εργαλείων» (lever concepts) και «εννοιών-στηριγμάτων» (stepping stones) για μια προσέγγιση μαθησιακής προόδου στη διδασκαλία των χημικών δεσμών στο λύκειο (Tsapalis, Pappa & Byers, 2019).

Βασικές έννοιες	Έννοιες-εργαλεία	Έννοιες-στηρίγματα
Ατομο	Ενέργεια	Ομοιοπολική ένωση
Ιόν	Μέταλλο	Ιοντική ένωση
Μόριο	Αμέταλλο	Ιοντικός κρύσταλλος
Ηλεκτραρνητικότητα και ηλεκτροθετικότητα	Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις / δυνάμεις Coulomb (ελκτικές και απωστικές)	Δομές Lewis
Ιοντικός δεσμός	Απαγορευτική αρχή του Pauli	Πολικότητα δεσμού
Ομοιοπολικός (πολικός και μη πολικός) δεσμός	Ατομική δομή	Πολικότητα ένωσης
Συνέχεια τύπου δεσμού	Ηλεκτρόνια σθένους	Γιγαντιαίες ομοιοπολικές δομές
Μοντέλο VSEPR	Ατομική ακτίνα	Σχέσεις Δομής-Ιδιοτήτων
/μοριακή γεωμετρία	Ενέργεια ιοντισμού & ηλεκτρονιοσυγγένεια	(φυσική κατάσταση, πυκνότητα, σημείο τήξης, σημείο βρασμού, διαλυτότητα, δραστηριότητα / π.χ. οξύτητα - βασικότητα, οξειδωτική και αναγωγική ισχύς)
	Δεσμός και μοναχικά ηλεκτρονιακά ζεύγη	

Η θεωρητική κατασκευή των βασικών εννοιών μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στην καλλιέργεια της προόδου των μαθητών προς την επιστημονική κατανόηση.

Εκτός από τις **βασικές έννοιες**, υπάρχουν επίσης αφενός οι «**έννοιες-εργαλεία**» (lever concepts), οι οποίες σε ένα συγκεκριμένο βαθμό αντιπροσωπεύουν βασικές έννοιες τις οποίες οι μαθητές έχουν ήδη κατανοήσει, και αφετέρου οι «**έννοιες-στηρίγματα**» (stepping stones) που ορίζονται ως μαθησιακοί στόχοι για τις διαφορετικές κατηγορίες βαθμίδων (Wiser, Frazier & Fox, 2013). Στον Πίνακα 7.1

παρουσιάζονται *προτεινόμενες* βασικές έννοιες, έννοιες-εργαλεία και έννοιες-στηρίγματα για την προσέγγιση της μαθησιακής προόδου στη διδασκαλία χημικών δεσμών στο λύκειο που πρότειναν οι Tsaparlis, Pappa και Byers (2019).

7.6.4. Άλλες διδακτικές προτάσεις

Όσον αφορά τις οπτικές αναπαραστάσεις των χημικών δομών, όπως έδειξε η έρευνά μας, ήταν κάτι το οποίο βοήθησε τους φοιτητές και γενικά άφησε θετικές εντυπώσεις. Η χρήση τους είναι σημαντική στη διδασκαλία των χημικών δεσμών. Τα διάφορα εγχειρίδια τα οποία απευθύνονται σε μαθητές, φοιτητές και εκπαιδευτικούς θα μπορούσαν να ενσωματώσουν περισσότερα σχήματα ή εικόνες που σχετίζονται με τις οπτικές αναπαραστάσεις.

Εκτός όμως από τα σχολικά ή πανεπιστημιακά βιβλία, και ο ίδιος ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει τις οπτικές αναπαραστάσεις ως ένα επιπλέον εκπαιδευτικό μέσο που θα τον βοηθήσει σημαντικά κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του. Φυσικά, εκτός από την έντυπη μορφή, μπορεί να αξιοποιήσει και τις νέες τεχνολογίες όπως για παράδειγμα τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, τον βιντεοπροβολέα και φυσικά το διαδίκτυο το οποίο προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία επιλογών.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι πολύ σημαντικό τα σχολικά εγχειρίδια να ανανεώνονται και να επικαιροποιούνται πιο συχνά, έτσι ώστε να εναρμονίζονται με τις σύγχρονες απαιτήσεις της εποχής. Σχετικά με αυτό, αρκεί να αναφέρουμε ότι τα υπάρχοντα σχολικά βιβλία χημείας στο λύκειο έχουν ήδη συμπληρώσει πάνω από είκοσι χρόνια από την πρώτη έκδοσή τους. Επειδή όμως η έννοια του χημικού δεσμού δημιουργεί δυσκολίες όχι μόνο στους μαθητές αλλά και στους εκπαιδευτικούς (οι οποίοι καλούνται να διδάξουν το συγκεκριμένο θέμα), εκτός από τα διάφορα εγχειρίδια, είναι πιο σημαντικό το έμπυχο δυναμικό, δηλαδή οι εκπαιδευτικοί, οι οποίοι πρέπει να επικαιροποιούν τις γνώσεις τους σε διάφορους τομείς όπως: οι νέες τεχνολογίες, η διδακτική της χημείας και φυσικά στο ίδιο το γνωστικό αντικείμενο το οποίο και συνεχώς εξελίσσεται. Αυτό φυσικά μπορεί να γίνει μόνο μέσω της σωστής επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών με περισσότερα και πιο ουσιαστικά εκπαιδευτικά σεμινάρια.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Α. Ελληνική βιβλιογραφία

- Αβραμιώτης, Σ., Αγγελόπουλος, Β., Καπελώνης, Γ., Σινιγάλας, Π., Σπαντίδης, Δ., Τρικάλιτη, Α. και Φίλος, Γ., (2021), *Χημεία Β' Γυμνασίου*, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος».
- Αθανασίου, Κ., (2015), Διδακτική της βιολογίας, [Προπτυχιακό εγχειρίδιο], Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4794>
- Αμαριωτάκης Β., Σπηλιωτοπούλου Β. και Ιωαννίδης Γ., (2007), Οπτικές αναπαραστάσεις στα σχολικά βιβλία Χημείας και Βιολογίας Γυμνασίου. Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες Εκπαίδευσης», Τεύχος Α, σσ. 749-758.
- Αμαριωτάκης Β., Σπηλιωτοπούλου Β. και Ιωαννίδης Γ., (2009), Οι εμπειρίες των μαθητών με 4 οπτικές αναπαραστάσεις του μικρόκοσμου. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες Εκπαίδευσης», σσ. 164 - 172.
- Γιασεμής, Η., (2015), Διδάσκοντας τη Βιολογία στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Γράψας, Ι. και Πάγκαλος, Σ., (2021), *Χημεία και Ζωντανοί Οργανισμοί, Γ' ΕΠΑ.Λ.*, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος», Αθήνα.
- Θεοδοσίου Α. και Παπαϊωάννου Α., (2006), Μεταγνώση και Προσωπικοί Προσανατολισμοί. Ο Ρόλος τους στην Αυτο-ρύθμιση της Μάθησης στη Φυσική Αγωγή, *Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό*, 4 (2), 148 – 167.
- Θεοδωρόπουλος, Π., Παπαθεοφάνους, Π. και Σιδέρη, Φ., (2021), *Χημεία Γ' Γυμνασίου*, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος».
- Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (Ι.Ε.Π.), (2021), Πρόγραμμα σπουδών για το μάθημα της χημείας στις Α', Β' και Γ' τάξεις λυκείου, πρώτη έκδοση, <http://iep.edu.gr/el/nea-ps-provoli>.
- Καράντζολα, Ε. & Ιντζίδη, Β., (1999), Διδακτικές δοκιμές: εννοιολογικές και αφηγηματικές οπτικές αναπαραστάσεις, στο <http://www.komvos.edu.gr/periodiko/periodiko1st/default.htm> στις 29.07.2014

- Καριώτογλου, Π., (2021), Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός Περιεχομένου και η Αναγκαιότητα στη Διδακτική Φυσικών Επιστημών: Ζητήματα, Ευρήματα και Προτάσεις, *Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 1(1), 39-62, <https://doi.org/10.12681/riste.27268>
- Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π. και Κάλλης Α., (2021α), *Χημεία Α΄ Τάξης Γενικού Λυκείου*, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος».
- Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π. και Κάλλης Α., (2021β), *Χημεία Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου*, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος».
- Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π. και Κάλλης Α., (2021γ), *Χημεία Γ΄ Τάξης Γενικού Λυκείου, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών & Σπουδών Υγείας*, Τεύχη Α΄ και Β΄, Έκδοση: ΙΤΥΕ «Διόφαντος».
- Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π. και Κάλλης Α., (2014), *Χημεία Α΄ Τάξης Γενικού Λυκείου*, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Λυρατζόπουλος, Ε., (2015), Διερεύνηση απόψεων καθηγητών ΠΕ04 γύρω από τις παρανοήσεις των μαθητών στις έννοιες της βιολογίας, Μεταπτυχιακή εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Μοριακής Βιολογίας και Γενετικής
- Μαυρίδης Α., (1994), Ιστορική εξέλιξης του χημικού δεσμού. *Πρακτικά Πανελληνίου Συμποσίου – «Η ιστορική εξέλιξη της χημείας στην Ελλάδα»*, (σελ. 237 – 245), Αθήνα, Ελλάδα.
- Παππά Θ. Ε., (2015), Ενδομοριακοί και διαμοριακοί δεσμοί: Ιεραρχίες μάθησης στην βιβλιογραφία της Γενικής Χημείας και στην προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης (SOMA). Αξιολόγηση των ερωτήσεων των αντίστοιχων κεφαλαίων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Πύργας Ε., (2006), «Διδακτικό Πειραματικό Υλικό για τη Χημεία της Α΄ Λυκείου με Βάση την Προσέγγιση των Καταστάσεων της Ύλης» που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης: Στις Νέες Τεχνολογίες Χημικής Εκπαίδευσης.
- Πύργας Ε. και Τσαπαρλής Γ., (2005), Διδακτικό πειραματικό υλικό για τη Χημεία Α΄ Λυκείου με βάση την προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης, *Πρακτικά 20ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας*. Χημεία: Εκπαίδευση, Έρευνα & Εφαρμογές, Ιωάννινα, σελ. 128.

- Πύργας Ε. και Τσαπαρλής Γ., (2007), Προσεγγίζοντας τη χημεία μέσα από τις καταστάσεις της ύλης: Πειραματικό υλικό για την α' λυκείου και προκαταρκτική αξιολόγησή του από εκπαιδευτικούς, *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου: "Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών Εκπαίδευσης"*, Τόμος 5, Τεύχος Β, σσ. 690-698:
http://kodipheet.chem.uoi.gr/fifth_conf/pdf_synedriou/teyxos_B/3_didakt_didask_xhm/5_XHM-02telikiF.pdf
- Ραβάνης Κ., (2015), Εισαγωγή στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών, Έκδοση: 1.0, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Κοινωνικών και Ανθρωπιστικών Επιστημών, Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και της Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία, Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/PN1520/>
- Τσαπαρλής Γ., (1998), Χημική Εκπαίδευση 2000: Ο κύκλος των χαμένων χημικών (ή της χαμένης χημείας;), *Χημικά Χρονικά*, τεύχος 12, Δεκέμβριος 1998.
- Τσαπαρλής, Γ., (2002), «Ο εποικοδομητισμός στη διδασκαλία της Χημείας», *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών – Έρευνα και Πράξη*, τεύχος 3, 50-52.
- Τσαπαρλής, Γ., (2019), Προκλήσεις και Επιτεύγματα στη Διδακτική της Χημείας στην Ελλάδα - Μια προσωπική κατάθεση, *Χημικά Χρονικά*, 81(4), 17 – 21.
- Τσαπαρλής, Γ. και Καμπουράκης, Κ., (2000), Οι εναλλακτικές ιδέες των σπουδαστών στη χημεία: μια ανασκόπηση της έρευνας και οι συνέπειες στη διδασκαλία και τη μάθηση, Στο Γ. Τσαπαρλής (Επιμ.), *Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Διδακτική της Χημείας: Θέματα σε μεταπτυχιακό επίπεδο*, (σελ. 69 – 107).
- Τσαπαρλής Γ. και Πύργας Ε., (2005), Διδακτικό πειραματικό υλικό για τη χημεία της α' λυκείου με βάση την προσέγγιση των καταστάσεων της ύλης (SOMA), Διαθέσιμο στον Κόμβο Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΚοΔιΦΕΕΤ): <http://kodipheet.chem.uoi.gr/sxbibliaxhmeias.php>

Β. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- AAAS (American Association for the Advancement of Science), Project 2061, (2001a), *Atlas of Science Literacy*. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science), Project 2061, (2001b), *Designs for Science Literacy*. Oxford, New York.
- Acar, B., and Tarhan, L., (2008), Effects of cooperative learning on students' understanding of metallic bonding, *Research in Science Education*, 38(4), 401–420.
- Achiam M., (2014), Didactic Transposition: From theoretical notion to research programme, *Paper presented at the biannual ESERA 2014, doctoral summer school, August 25- 29, Kappadokya, Turkey*.
- Anslyn, E. V.; Dougherty, D. A. (2006). *Modern physical organic chemistry*. University Science Books: Sausalito, California.
- Ataman K. and Kemal D., (2013), Effects of Jigsaw Cooperative Learning and Animation Techniques on Students' Understanding of Chemical Bonding and Their Conceptions of the Particulate Nature of Matter, *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 186-203, DOI:10.1007/s10956-012-9385-9
- Atkins P., (1999). Chemistry: the great ideas, *Pure Appl. Chem.*, 71(6), 927–929.
- Atkins P., (2010). Chemistry's core ideas, *Chemistry Education in New Zealand*, 2010, 8–12.
- Atkins P., (2014), Chapter 1: Atomic and molecular structure, *Physical chemistry, a very short introduction*, (pp. 1 – 21), Oxford, UK: Oxford University Press.
- Ballester Pérez J. R., Ballester Perez M. E., Calatayud M. L., García-Lopera R., Sabater Montesinos J. V. and Trilles Gil E., (2017), Student's misconceptions on chemical bonding: a comparative study between high school and first year university students, *Asian Journal of Education and e-Learning*, 5(1), Asian Online Journals (www.ajouronline.com).
- Barradas-Solas, F. and Sánchez Gómez, P. J., (2014), Orbitals in chemical education. An analysis through their graphical representations, *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 311–319.

- Barker V. and Millar R., (2000), Students reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *Int. J. Sci. Educ.*, 22(11), 1171–1200.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. and Silberstein, J., (1986), Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 64 – 66.
- Bergqvist A., Drechsler M., De Jong O. and Chang Rundgren S.-N. C., (2013), Representations of chemical bonding models in school textbooks – help or hindrance for understanding? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(4), 589–606.
- Bergqvist, A., Drechsler, M. and Chang Rundgren, S.-N., (2016), Upper secondary teachers’ knowledge for teaching chemical bonding models, *International Journal of Science Education*, 38(2), 298–318.
- Birk, J.P. and Kurtz, M.J., (1999), Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding, *Journal of Chemical Education*, 76(1), 124-128.
- Bodner, G., (2001), The many forms of constructivism, *J. Chem. Educ.*, 78(8), 1107.
- Bodner, G., (2004), Lewis Structures. In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 3, pp. 30-34. MacMillan.
- Bodner, G. and Domin D., (1998), Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. Paper presented at International Council for Association in Science Education, Summer Symposium, Proceedings.
- Boo, H.K., (1998), Students’ understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions, *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 569-581.
- Bosch M. and Gascón J., (2006), Twenty-Five Years of the Didactic Transposition, *ICMI bulletin*, 51 – 65.
- Boschmann, E., (2004), Molecules, In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 3, pp. 114-119. MacMillan.
- Bruner, J. S., (1960), *The process of education*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Bunce, D., Gabel, D., Herron, J.D. and Jones, (1994), L. Report of the Task Force on Chemical Education Research of the American Chemical Society, *J. Chem. Educ.*, 71(10), 850-82.

- Bunce, D. M. and Cole, R.S., (eds.), (2008), Nuts and bolts of chemical education research. ACS Symposium Series 976, Washington, DC: American Chemical Society / Oxford University Press.
- Bunce, D. M. and Cole, R. S., (2014), Tools of chemistry education research, ACS Symposium Series 1166, Washington, DC: American Chemical Society / Oxford University Press.
- Burrows N. L. and Reid Mooring S., (2015), Using concept mapping to uncover students' knowledge structures of chemical bonding concepts, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(1), 53–66.
- Butts B. and Smith R., (1987), HSC Chemistry Students' Understanding of the Structure and Properties of Molecular and Ionic Compounds, *Res. Sci. Educ.*, 17, 192–201.
- Cardoso Mendonça, P. C., and Justi, R., (2011), Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study, *Research in Science Education*, 41(4), 479–503.
- Chang R., (2000), *Chemistry*, 6th edn., McGraw-Hill.
- Cheng M. M. W. and Oon P.-T., (2016), Understanding metallic bonding: structure, process and interaction by Rasch analysis, *Int. J. Sci. Educ.*, 38(12), 1923–1944.
- Chevallard Yves and Bosch Marianna, (2014), Didactic Transposition in Mathematics Education, In: Lerman S. (eds), *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer, Dordrecht, https://doi.org/10.1007/978-94-007-4978-8_48.
- Coll R.K., (2008), Chemistry Learners' Preferred Mental Models for Chemical Bonding, *Journal of Turkish Science Education*, 5(1), 22-47.
- Coll R.K. and Taylor, N., (2001), Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students, *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 171-191.
- Coll R. K. and Taylor N., (2002), Mental models in chemistry: senior chemistry students' mental models of chemical bonding, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 3(2), 175-184.
- Coll R. K. and Treagust, D., (2003), Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learner's mental of ionic bond, *J. Res. Sci. Teach.*, 40 (5), 464–486.
- Coppola, P., B., (2004), Molecular Structure. In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 3, pp. 109-114. MacMillan.

- Croft, M. and de Berg, K., (2014), From common sense concepts to scientifically conditioned concepts of chemical bonding: An historical and textbook approach designed to address learning and teaching issues at the secondary school level, *Science & Education*, 23(9), 1733–1761.
- Dangur, V., Avargil, S., Peskin, U. and Dori, Y. J., (2014), Learning quantum chemistry via a visual-conceptual approach: Students' bidirectional textual and visual understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3) 297–310.
- De Jong, O., Schmidt, H.-J. Burger, N. & Eybe, H., (1999), Empirical research into chemical education, *Univ. Chem. Educ.*, 3(1), 28-30.
- De Jong O. and Taber K. S., (2014), Many Faces of High School Chemistry, in Lederman N. G. and Abell S. K (ed.), *Handbook of Research on Science Education*, New York, NY: Routledge, vol. II.
- De Posada, J.M., (1997), Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81, 445-467.
- Dhindsa, H. S., and Treagust, D. F., (2014), Prospective pedagogy for teaching chemical bonding for smart and sustainable learning, *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 435–446.
- Driver, R., and Easley, J., (1978), Pupils and paradigms: A review of literature related the concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61–84.
- Driver, R., and Erickson, G., (1983), Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science, *Studies in Science Education*, 10, 37–60.
- Duschl, R., Maeng, S. and Sezen-Barrie, A., (2011), Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis, *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182.
- Flavell H. J., (1979), Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive—Developmental Inquiry, *American Psychological Association*, 34(10), 906-911.
- Fleer, M., (1999), Children's alternative views: Alternative to what? *International Journal of Science Education*, 21, 119–135.
- Fensham, P., (1975), Concept formation. In Daniels, D.J. (ed.), *New movements in the study and teaching of chemistry*, pp.199-217, London: Temple Smith.

- Frailich, M., Kesner, M. and Hofstein, A., (2009), Enhancing students' understanding of the concept of chemical bonding by using activities provided on an interactive website, *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 289–310.
- Gabel, D., (1996), The complexity of chemistry: Research for teaching in the 21st century. Paper presented at the 14th International Conference on Chemical Education, Brisbane, Australia.
- Gabel, D. L., (1999), Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future, *J. Chem. Educ.*, 76(4), 548-554.
- Gilbert, J. K., (2006), On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976.
- Gilbert, J.K. and Rutherford, M., (1998a), Models in explanations Part 1: Horses for courses?, *International Journal of Science Education*, 20, 83-97.
- Gilbert, J.K. and Rutherford, M., (1998b), Models in explanations Part 2: Whose voice? Whose ears?, *International Journal of Science Education*, 20, 187-203.
- Gillespie, R., (1997), The great ideas of chemistry, *Journal of Chemical Education*, 74, 862 – 864.
- Giordano, G., (2003), Twentieth-Century Textbook Wars: A History of Advocacy and Opposition, *History of Schools and Schooling*, vol. 17, Peter Lang, New York.
- Gooding, J. and Metz, W., (2011), From misconception to conceptual change: tips for identifying and overcoming students' misconceptions, *The Science Teacher*, 78(4), 34-37.
- Goh, N.K., Khoo, L.E. and Chia, L.S., (1993), Some misconceptions in chemistry: A cross-cultural comparison and implications for teaching, *Australian Science Teachers Journal*, 39(3), 65-68.
- Goodlad, J. I., (1979), Curriculum inquiry: The study of curriculum practice, New York, McGraw-Hill.
- Griffiths, A., and Preston, K., (1992), Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611 – 628.
- Harrison, A. G. and Treagust, D. F., (2000), Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352 – 381.
- Hazzi S. and Dumon A., (2014), Conceptual integration of covalent bond models by Algerian students, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15(4), 675–688.

- Herron, J. D., (1975), Piaget for chemists: Explaining what “good” students cannot understand, *J. Chem. Educ.*, 52(3), 146-150.
- Herron, J. D., (1978), Piaget in the classroom: Guidelines for applications, *J. Chem. Educ.*, 55(3), 165-170.
- Herron, J. D., (1996), The chemistry classroom: Formulas for successful teaching. Washington, DC: American Chemical Society.
- Herron, J. D. and Nurrenburn, (1999), N. C., Chemical education research: Improving chemistry learning, *J. Chem. Educ.*, 76(10), 1354-1361.
- Hilton, A. and Nichols, K., (2011), Representational classroom practices that contribute to students’ conceptual and representational understanding of chemical bonding, *International Journal of Science Education*, 33(16), 2215–2246.
- Holme T. and Murphy K., (2012), The ACS Exams Institute undergraduate chemistry anchoring concepts map I: General chemistry, *J. Chem. Educ.*, 89(6), 721–723.
- Holme T., Luxford C. and Murphy K., (2015), Updating the general chemistry anchoring concepts map, *J. Chem. Educ.*, 92(6), 1115–1116.
- Hurst, O., (2002), How we teach molecular structure to freshmen, *Journal of Chemical Education*, 79(6), 763 – 764.
- Jensen, J. H., (2010), Molecular modeling basics, Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.
- Johnstone, A. H., (1991), Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75 – 83.
- Johnstone, A.H., (2000), Teaching chemistry – logical or psychological? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1(1), 9-15.
- Johnstone, A.H., Morrison T.I. and Reid. N., (1981), Chemistry about us, London: Heinmann Educational Books.
- Joki, J., Lavonen, J., Juuti, K. and Aksela, M., (2015), Coulombic interaction in Finnish middle school chemistry: A systemic perspective on students’ conceptual structure of chemical bonding, *Chemistry Education Research and Practice*, 16 (4), 901– 917.
- Joki J. and Aksela M., (2018), The challenges of learning and teaching chemical bonding at different school levels using electrostatic interactions instead of the octet rule as a teaching model, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19(3), 932-953.

- Kolb, K., D., (2004), Molecular Orbital Theory, In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 3, pp. 106-109. MacMillan.
- Kotz C. J. and Treichel P. J, (2003), *Chemistry and chemical reactivity*, 5th edn., Academic Press.
- Kronik, L., Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R. and Hofstein, A., (2008), A new “bottom-up” framework for teaching chemical bonding, *Journal of Chemical Education*, 85(12), 1680–1685.
- Laing, M. (2004). Bonding. In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 1, pp. 132-141. MacMillan.
- Laing, M., (2004), Valence Bond Theory. In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 4, pp. 250-251. MacMillan.
- Lee, R. and Cheng M. W., (2014), The relationship between teaching and learning of chemical bonding and structures. In C. Bruguière et al. (Eds.), *Topics and trends in current science education: 9th ESERA Conference Selected Contributions*, Ch. 25, Dordrecht: Springer.
- Levy Nahum T., Mamlok-Naaman R., Hofstein A. and Krajcik J., (2007), Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge, *Sci. Educ.*, 91(4), 579–603.
- Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., and Taber, K., (2010), Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), 179–207.
- Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R. and Hofstein, A., (2013), Teaching and learning of the chemical bonding concept: Problems and some pedagogical issues and recommendations. In G. Tsapralis & H. Sevan (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 373–390). Dordrecht: Springer.
- Lewis R. and Evans W., (1997), *Chemistry*, 1st edn., Macmillan.
- Luxford C. J. and Bretz S. L., (2013), Moving beyond definitions: what student-generated models reveal about their understanding of covalent bonding and ionic bonding, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(2), 214-222.

- Luxford C. J. and Bretz, S. L., (2014), Development of the bonding representations inventory to identify student misconceptions about covalent and ionic bonding representations, *J. Chem. Educ.*, 91(3), 312–320.
- Macintosh H. G. and Morrison R. B., (1969), Objective testing, London: University of London Press.
- Mendonça, P. C. C. and Justi, R., (2009), Learning enhancement of electrostatic model: analysis of a teaching process of ionic bonding based in modelling – Part I., *Edu. Quim*, 20, 282–293.
- Mortimer, E. F., Mol, G. and Duarte, L. P., (1994), Octet Rule and Chemical Bond Theory in the high school: Dogma or Science? *Quim. Nova*, 17 (3), 243–252.
- National Research Council, (1997), Science Teaching Reconsidered: A Handbook, Chapter 4: Misconceptions as Barriers to Understanding Science, Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council., (2012), Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering, ed. SR Singer, NR Nielsen, and HA Schweingruber, Committee on the Status, Contributions, and Future Directions of Discipline-Based Education Research, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, Washington, DC: The National Academies Press.
- Nelson, P. G., (1994), Classifying substances by electrical character: An alternative to classifying by bond type, *Journal of Chemical Education*, 71(1), 24–26.
- Niaz, M., (2001), Response to contradiction: Conflict resolution strategies used by students in solving problems of chemical equilibrium, *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 205–211.
- Nicoll, G., (2001), A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Nimmermark A., Ohrstrom L., Mårtensson J. and Davidowitz B., (2016), Teaching of chemical bonding: a study of Swedish and South African students' conceptions of bonding, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17(4), 985–1005.
- Othman J., Treagust D. F. and Chandrasegaran A. L., (2008), An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding, *Int. J. Sci. Educ.*, 30(11), 1531–1550.
- Özmen, H., (2004), Some student misconceptions in chemistry: A literature review of chemical bonding. *J. Sci. Educ. Technol.*, 13(2), 147–159.

- Pabuçcu A. and Geban Ö., (2012), Students' Conceptual Level of Understanding on Chemical Bonding, *International Online Journal of Educational Sciences*, 4(3), 563-580, ISSN: 1309-2707.
- Palmer, D., (1999), Exploring to link between students' scientific and nonscientific conceptions, *Science Education*, 83(6), 639– 653.
- Palmer, D., (2001), Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity, *International Journal of Science Education*, 23(7), 691– 706.
- Pappa E. T. and Tsaparlis G., (2011), Evaluation of questions in general chemistry textbooks according to the form of the questions and the Question–Answer Relationship (QAR): the case of intra- and intermolecular chemical bonding, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 12(2), 262-270.
- Pauling L. and Pauling P., (1975), *Chemistry*, San Francisco: W. H. Freeman.
- Paun E., (2006), Transposition didactique: un processus de construction du savoir scolaire, *Carrefours de l'éducation*, 22(2), 3 – 13.
- Pazinato S. M., Bernardi M. F., Miranda G. A. C., and Braibante F. M. E., (2020), Epistemological profile of chemical bonding: Evaluation of knowledge construction in high school, *J. Chem. Educ.*, 98(2), 307 – 318.
- Pearson P. D. and Johnson D. D., (1978), *Teaching reading comprehension*, New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Peterson, R. F., and Treagust, D. F., (1989), Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure, *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459 – 460.
- Peterson, R.F., Treagust, D.F., and Garnett, P., (1989), Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and grade-12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301- 314.
- Polifka, J., Baluyut, J., and Holme, T. (2021). Technology, molecular representations, and student understanding in chemistry. In G. Tsaparlis (Ed.), *Problems and problem solving in chemistry education*, (pp. 323–339), London, UK: Royal Society of Chemistry.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A., (1982), Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211–217, doi:10.1002/sce.3730660207.

- Pyrgas E. and Tsaparlis G., (2010), The States Of-Matter-Approach (SOMA) to introductory upper secondary chemistry: a textbook and its preliminary evaluation by teachers, *10th European Conference on Research in Chemistry Education & the 4th International Conference Research in Didactics of the Sciences*, Pedagogical University of Krakow, Institute of Biology, Department of Chemistry and Chemistry Education, ISBN 978-83-7271-618-7, Krakow, 2010 July 04-09.
- Reed College: Organic Chemistry (ROCO) Online, Chapter 4 – Electrostatic Potentials:
http://www.reed.edu/chemistry/ROCO/Potential/electrostatic_maps.html
 (πρόσβαση στις 07-Ιουλίου-2022).
- Robinson, W., (2003), Chemistry problem-solving: Symbol, macro, micro, and process aspects, *Journal of Chemical Education*, 80(9), 978 – 982.
- Schmidt, H.-J., (1997), Students’ misconceptions - Looking for a pattern, *Science Education*, 81(2), 123-135.
- Şen Ş. and Yilmaz A., (2013), A Phenomenographic Study on Chemical Bonding, *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2), 144-177.
- Şen Ş. and Yilmaz A., (2017), The Development of a Three-tier Chemical Bonding Concept Test, *Journal of Turkish Science Education*, 14(1), 110-126.
- Septyadi David Eka Aryungga, Effendy, Suharti, (2017), Study of Chemical Bonding Misconception on Senior High School Students caused by Learning Strategy and Content in Textbook, *Proceeding: The 2nd International Seminar on Chemical Education 2017*, September, 12-13th 2017, ISBN: 978-602-73192-1-9.
- Sevian, H. and Stains, M., (2013), Implicit assumptions and progress variables in a learning progression about structure and motion of matter, In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 69–94), Dordrecht: Springer.
- Sherman A. and Sherman S. J., (1993), *Chemistry and our changing world*, 3rd edn., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Silbeberg, M. S., (1999), *Chemistry - The molecular nature of matter and change*, 2nd edn, Publisher: McGraw-Hill College, 2nd edition.
- Singer, S. R., Nielsen, N. R. and Schweingruber, H. A. (eds.), (2012), *Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate*

- science and engineering, Washington, DC: National Academies Press. (Available for free at: http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=13362).
- Spencer N. J, Bodner G. M., and Rickard H. L., (2008), *Chemistry – structure and dynamics*, 4th edn., Wiley.
- Taber K. S., (1994), Misunderstanding the ionic bond, *Educ. Chem.*, 31(4), 100–103.
- Taber, K.S., (1995), Development of student understanding: A case study of stability and lability in cognitive structure, *Research in Science and Technological Education*, 13, 89-99.
- Taber, K.S., (1997), Student understanding of ionic bonding: Molecular versus electrostatic thinking? *School Science Review*, 78(285), 85-95.
- Taber, K. S., (1998), An alternative conceptual framework from chemistry education, *International Journal of Science Education*, 20(5), 597 – 608.
- Taber K. S., (2000a), Multiple frameworks? Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure, *Int. J. Sci. Educ.*, 22(4), 399–417, DOI: 10.1080/095006900289813.
- Taber, K., (2000b), Chemistry lessons for universities?: A review of constructivist ideas, *University Chemistry Education*, 4(2), 63–72.
- Taber, K. S., (2001a), The mismatch between assumed prior knowledge and the learners’ conceptions: A typology of learning impediments. *Educational Studies*, 27(2), 159 – 171.
- Taber, K. S., (2001b), Building the structural concepts of chemistry: Some considerations from educational research, *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123–158.
- Taber, K. S., (2002), Chemical misconceptions—Prevention, diagnosis and cure, Vol.1: Theoretical background. London: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. S., (2008), Of models, mermaids and methods: The role of analytical pluralism in understanding student learning in science, In I. V. Eriksson (ed.), *Science education in the 21st century* (pp. 69–106), Hauppauge: Nova Science.
- Taber, K. S., (2012), Developing models of chemical bonding, In K. S. Taber (ed.), *Teaching secondary chemistry*, 2nd edn., Ch. 4, London: Association for Science Education/Hodder Education.
- Taber, K. S., (2013), A common core to chemical conceptions: Learners’ conceptions of chemical stability, change and bonding. In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 391–418), Dordrecht: Springer.

- Taber, K. S., (2015), Advancing chemistry education as a field (editorial). *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(1), 6-8.
- Taber, K. S. and Coll, R., (2002)., Bonding. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justy, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice*, (pp. 213 – 234), Dordrecht: Kluwer.
- Taber K. S. and Coll R., (2003), Bonding, in Gilbert J. K., Jong O. D., Justy R., Treagust D. F. and Van Driel J. H. (ed.), *Chemical education: towards research-based practice*, Dordrecht: Kluwer, pp. 213–234.
- Taber K. S., Tsaparlis G. and Nakiboglu C., (2012), Student conceptions of ionic bonding: patterns of thinking across three European contexts, *Int. J. Sci. Educ.*, 34(18), 2843–2873.
- Taber, K. S. and Adbo, K., (2013), Developing chemical understanding in the explanatory vacuum: Swedish highschool students’ use of an anthropomorphic conceptual framework to make sense of chemical phenomena. In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education*, (pp. 347–370), Dordrecht: Springer.
- Talanquer, V., (2007), Explanations and teleology in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 29(7), 853–870.
- Talanquer, V., (2013), How do students’ reason about chemical substances and reactions? In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education*, (pp. 331–346), Dordrecht: Springer.
- Tan, K. C. D. and Treagust, D. F., (1999), Evaluating students’ understanding of chemical bonding, *Sch. Sci. Rev.*, 81(294), 75–83.
- Tarhan, H., Ayar-Kayali, R., Urek, O. and Acar, B., (2008), Problem-based learning in 9th grade chemistry class: ‘Intermolecular forces’, *Research in Science Education*, 38(3), 285–300.
- Teichert A. M., Roy MacArthur H. A., Smith F. V., Luning Prak J. D., and Lin S., (2021), *Journal of Chemical Education*, 98(12), 3739-3748.
- Tsaparlis, G., (1997), Atomic and molecular structure in chemical education – A critical analysis from various perspectives of science education, *Journal of Chemical Education*, 77(8), 922 – 925.
- Tsaparlis, G., (2000), The states-of-matter approach (SOMA) to introductory chemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 161–168.

- Tsaparlis, G., (2001), Theories in science education at the thrshold of the third millennium, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2 (1), 1–4.
- Tsaparlis, G. (2004). Atomic Structure. In L.J. Lagowski (Ed.), *Chemistry: Foundations and Applications (four-volume illustrated encyclopedia)*, Vol. 1, pp. 78-87, MacMillan.
- Tsaparlis, G., (2013), Learning and teaching the basic quantum chemical concepts. In G. Tsaparlis & H. Sevan (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 437–460), Dordrecht: Springer.
- Tsaparlis, G., (2018), Challenges, Barriers, and Achievements in Chemistry Education: The Case of Greece. In C. Cox and W. E. Schatzberg (eds.), *International Perspectives on Chemistry Education Research and Practice*, Ch. 7, pp. 93-110. Washington, DC, American Chemical Society.
- Tsaparlis, G., (2021), Preface, in Problems and Problem Solving in Chemistry Education, Tsaparlis, G. (ed.). Royal Society of Chemistry: Book 7 in series: Advances in Chemistry Education Series.
- Tsaparlis, G. and Papaphotis, G., (2009), High-school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: The case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, 31(7), 895–930.
- Tsaparlis G. and Pyrgas E., (2012), The States-Of-Matter-Approach (SOMA) to high school chemistry: textbook and evaluation by teachers, in Bruguire C., Tiberghien A. and Clement P. (ed.), *Proceedings of the ESERA 2011 Conference*, Lyon, France, ISBN 978-9963-700-44-8, E-book Proceedings (Strand 4), <http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/>
- Tsaparlis G. and Pappa E. T., (2012), Types of intra- and intermolecular bonding: the case of general chemistry textbooks, in Bruguire C., Tiberghien A. and Clement P. (ed.), *Proceedings of the ESERA 2011 Conference*, Lyon, France, <http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/>
- Tsaparlis G., Pappa E. T. and Byers B., (2018), Teaching and learning chemical bonding: research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 12 (2), 262–270.
- Tsaparlis G., Pappa E. T. and Byers B., (2019), Proposed pedagogies for teaching and learning chemical bonding in secondary education, *Chemistry Teacher International*, 2 (1), <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0002>

- Tsaparlis G., Pantazi G., Pappa E. and Byers B., (2021), Using electrostatic potential maps as visual representations to promote better understanding of chemical bonding, *Chemistry Teacher International*, 3(4), 391-411.
<https://doi.org/10.1515/cti-2021-0012>
- Tiberiu O. C., (2015), Reconstruction of Contents by Reported To The Idea of Didactic Transposition, *International Journal of Social and Educational Innovation (IJSEIro)*, 2(3), 91 – 102.
- Unal S., Costu B. and Ayas A., (2010), Secondary school students' misconceptions of covalent bonding, *J. Turk. Sci. Educ.*, 7(2), 3–29.
- Uyulgan A. M. and Akkuzu N., (2016), An insight towards conceptual understanding: Looking into the molecular structures of compounds, *Acta Didactica Napocensia*, ISSN 2065-1430, 9(4), 49-70.
- Venkataraman B., (2017), Emphasizing the Significance of Electrostatic Interactions in Chemical Bonding, *J. Chem. Educ.*, 94(3), 296–303.
- Vladusic R., Bucatb R. B. and Ozic M., (2016), Understanding ionic bonding – a scan across the Croatian education system, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17(4), 685-699.
- Vygotsky, L., (1986), *Thought and language* (A. Kozulin, transl.), Cambridge MIT Press.
- Vrabec, M. and Prokša, M., (2016), Identifying Misconceptions Related to Chemical Bonding Concepts in the Slovak School System Using the Bonding Representations Inventory as a Diagnostic Tool, *J. Chem. Educ.*, 93(8), 1364–1370.
- Wang C.-Y. and Barrow L. C. R., (2013), Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(1), 130–146
- Whitten W. K, Davis E. R, and Peck M. L., (1999), *General chemistry*, 6th edn., Saunders College Publishing.
- Wiser, M., Frazier, K. E. and Fox, V., (2013), At the beginning was amount of material: A learning progression for matter for early elementary grades, In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 95–122), Dordrecht: Springer.

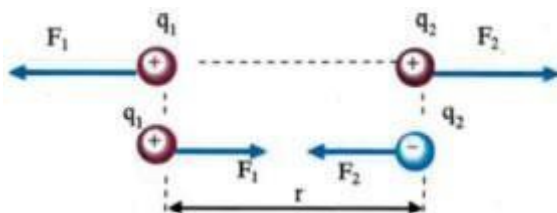
Yayon M., Mamlok-Naaman R. and Fortus D., (2012), Characterizing and representing students' conceptual knowledge of chemical bonding, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13(3), 248–267.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΣΤΗΝ Α΄ ΛΥΚΕΙΟΥ

1^η ΩΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ

Στη χημεία, οι ηλεκτρικές δυνάμεις (οι *ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις*) υπερισχύουν όλων των δυνάμεων, π.χ. της βαρυτικής δύναμης. Κεντρικός στην περιγραφή των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων είναι ο νόμος του Coulomb. Σύμφωνα με τον νόμο αυτόν, ανάμεσα σε δύο σημειακά ηλεκτρικά φορτία q_1 και q_2 ασκείται δύναμη F_C , η οποία είναι ελκτική μεν όταν έχουμε ετερόνυμα, απωστική δε όταν έχουμε ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία. Το μέτρο της δύναμης είναι τόσο μεγαλύτερο (σε απόλυτη τιμή) όσο τα μέτρα των φορτίων είναι μεγαλύτερα και όσο μικρότερη είναι η μεταξύ τους απόσταση. Το Σχ. 1 δείχνει τα διανύσματα των δυνάμεων Coulomb που ασκούνται ανάμεσα σε δύο ομώνυμα και σε δύο ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία.



Σχήμα 1. Δύναμη Coulomb ανάμεσα σε δύο φορτία: πάνω, δυνάμεις απωστικές – κάτω, δυνάμεις ελκτικές.

Μια παρόμοια σχέση ισχύει και για την (ηλεκτρική δυναμική) ενέργεια που αντιστοιχεί στη δύναμη Coulomb. Η δυναμική ενέργεια έχει θετικό πρόσημο για τις απωστικές δυνάμεις και αρνητικό πρόσημο για τις ελκτικές δυνάμεις. Το μέγεθος και το πρόσημο της ενέργειας είναι πολύ σημαντικό ως κριτήριο για τις μεταβολές στη φύση: οι μεταβολές γίνονται αυθορμήτως προς την κατεύθυνση της μείωσης της ενέργειας (*αρχή της ελάχιστης ενέργειας*). Ο νόμος του Coulomb και η αρχή της ελάχιστης ενέργειας ισχύουν τόσο για μακροσκοπικά σώματα όσο και για υπομικροσκοπικά σωματίδια, όπως τα μόρια, τα άτομα, οι πυρήνες των ατόμων και τα ηλεκτρόνια.

Το ατομικό μοντέλο που χρησιμοποιούμε εδώ θεωρεί τα ηλεκτρόνια να είναι «τοποθετημένα» σε στιβάδες γύρω από τον πυρήνα (και να κινούνται διαρκώς γύρω από αυτόν).^{*} Διακρίνουμε τις στιβάδες αφενός στις εσωτερικές στιβάδες και αφετέρου στην εξωτερική στιβάδα. Η τελευταία παίζει αποφασιστικό ρόλο στον σχηματισμό χημικών δεσμών και στις χημικές ιδιότητες των μορίων και ονομάζεται **στιβάδα σθένους**.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ

Η χημική συμπεριφορά των ατόμων των στοιχείων καθορίζεται κατά κύριο λόγο από δύο παραμέτρους. Αυτές είναι:

1. τα ηλεκτρόνια σθένους
2. το μέγεθος του ατόμου (ατομική ακτίνα)

1. Ηλεκτρόνια σθένους

Ο Πίνακας 1 με τα ηλεκτρόνια σθένους χαρακτηριστικών στοιχείων. Να σημειωθεί ότι τα ηλεκτρόνια σθένους μέχρι 4 είναι μονήρη (μοναχικά), ενώ από 5 και πάνω αρχίζουν τα ζευγάρια: έτσι 5 (πέντε)

^{*} Σε κάποιες περιπτώσεις παρακάτω, θα χρησιμοποιήσουμε και τη σύγχρονη κβαντομηχανική εικόνα των ατόμων και των μορίων, όπου αντί των διακεκριμένων ηλεκτρονίων που κινούνται σε τροχιές/στιβάδες έχουμε ένα **ηλεκτρονιακό νέφος**.

ηλεκτρόνια σχηματίζουν 1 ζευγάρι συν 3 μονήρη, 6 ηλεκτρόνια σχηματίζουν 2 ζευγάρια συν 2 μονήρη, 7 ηλεκτρόνια σχηματίζουν 3 ζευγάρια συν 1 μονήρη και τέλος 8 ηλεκτρόνια σχηματίζουν 4 ζευγάρια. Με βάση αυτό τον πίνακα μπορούμε να προσδιορίζουμε τους *ηλεκτρονιακούς τύπους* των ενώσεων (βλ. παρακάτω).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ηλεκτρόνια σθένους στοιχείων που ανήκουν σε κύριες ομάδες του περιοδικού πίνακα

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	Ευγενή αέρια
H•							He :
Li•	•Be•	•B•	•C•	:N•	:O•	:F•	:Ne:
Na•	•Mg•	•Al•	•Si•	:P•	:S•	:Cl•	:Ar:
K•	•Ca•				:Se•	:Br•	:Kr:
Rb•	•Sr•				:Te•	:I•	:Xe:
Cs•	•Ba•						

2. Ατομική ακτίνα (το μέγεθος του ατόμου)

Το μέγεθος ενός ατόμου καθορίζει τη δύναμη με την οποία τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας συγκρατούνται από τον πυρήνα, αφού μεταξύ του θετικά φορτισμένου πυρήνα και των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων ασκούνται δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης (Coulomb). Συνεπώς, **όσο πιο μικρό είναι ένα άτομο, τόσο πιο δύσκολα χάνει ηλεκτρόνια** ή τόσο πιο εύκολα παίρνει ηλεκτρόνια (μεγάλη έλξη από τον πυρήνα). Αντίθετα, **όσο πιο μεγάλο είναι ένα άτομο, τόσο πιο εύκολα χάνει ηλεκτρόνια** ή τόσο πιο δύσκολα παίρνει ηλεκτρόνια. (μικρή έλξη από τον πυρήνα).

ΕΝΑ ΑΤΟΜΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΤΑΣΗ ΝΑ ΠΑΙΡΝΕΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΛΕΓΕΤΑΙ ΗΛΕΚΤΡΑΡΝΗΤΙΚΟ, ΕΝΩ ΕΝΑ ΑΤΟΜΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΤΑΣΗ ΝΑ ΧΑΝΕΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΛΕΓΕΤΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΘΕΤΙΚΟ.

2^η ΩΡΑ Η **ηλεκτραρνητικότητα** ενός ατόμου είναι μια ιδιότητα του ατόμου που χρησιμοποιείται ως μέτρο της ικανότητας του ατόμου να έλκει ηλεκτρόνια. Η ηλεκτραρνητικότητα ενός ατόμου δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα, αλλά υπολογίζεται από άλλες ατομικές ιδιότητες. Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι υπολογισμού της ηλεκτραρνητικότητας, με πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη την κλίμακα του Pauling. Ο Πίνακας 2 είναι ένας περιοδικός πίνακας με τις (αδιάστατες) τιμές ηλεκτραρνητικότητας των ατόμων κατά Pauling. Η κλίμακα είναι σχετική και οι τιμές κυμαίνονται από 0,7 για το φράγκιο (Fr) μέχρι 3,98 για το φθόριο (F). (για το υδρογόνο η τιμή είναι 2,20). Να σημειωθεί ότι η ηλεκτραρνητικότητα (όπως προκύπτει από τον τρόπο υπολογισμού της) αυστηρά δεν είναι μια ιδιότητα του ατόμου αλλά μάλλον μια ιδιότητα του ατόμου σε ένα μόριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Περιοδικός πίνακας με τιμές ηλεκτραρνητικότητας των ατόμων κατά Pauling

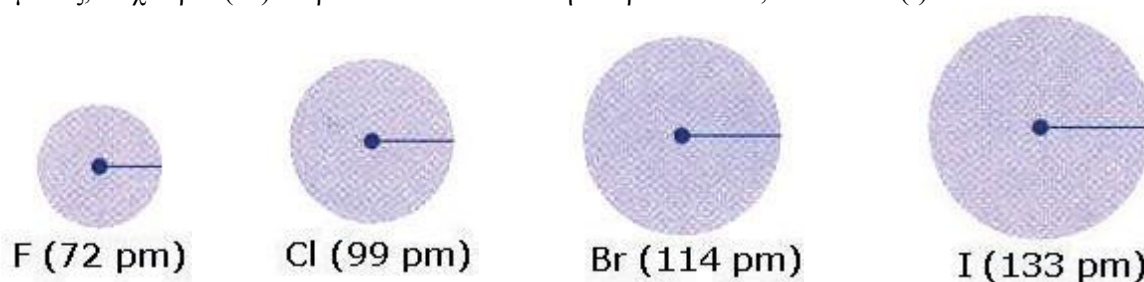
Group (vertical)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period (horizontal)																		
1	H 2.20																	He
2	Li 0.98	Be 1.57											B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98	Ne
3	Na 0.93	Mg 1.31											Al 1.61	Si 1.90	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16	Ar
4	K 0.82	Ca 1.00	Sc 1.36	Ti 1.54	V 1.63	Cr 1.66	Mn 1.55	Fe 1.83	Co 1.88	Ni 1.91	Cu 1.90	Zn 1.65	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96	Kr 3.00
5	Rb 0.82	Sr 0.95	Y 1.22	Zr 1.33	Nb 1.6	Mo 2.16	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.28	Pd 2.20	Ag 1.93	Cd 1.69	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.1	I 2.66	Xe 2.60
6	Cs 0.79	Ba 0.89	*	Hf 1.3	Ta 1.5	W 2.36	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.20	Pt 2.28	Au 2.54	Hg 2.00	Tl 1.62	Pb 2.33	Bi 2.02	Po 2.0	At 2.2	Rn 2.2
7	Fr 0.7	Ra 0.9	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
Lanthanides	*	La 1.1	Ce 1.12	Pr 1.13	Nd 1.14	Pm 1.13	Sm 1.17	Eu 1.2	Gd 1.2	Tb 1.1	Dy 1.22	Ho 1.23	Er 1.24	Tm 1.25	Yb 1.1	Lu 1.27		
Actinides	**	Ac 1.1	Th 1.3	Pa 1.5	U 1.38	Np 1.36	Pu 1.28	Am 1.13	Cm 1.28	Bk 1.3	Cf 1.3	Es 1.3	Fm 1.3	Md 1.3	No 1.3	Lr 1.291		

Periodic table of electronegativity using the Pauling scale

Το μέγεθος ενός ατόμου είναι μία από τις πιο ομαλά μεταβαλλόμενες ιδιότητες στον περιοδικό πίνακα.

- Κατά μήκος μιας περιόδου η ατομική ακτίνα ελαττώνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά. Αυτό συμβαίνει, γιατί όσο πηγαίνουμε προς τα δεξιά αυξάνει ο ατομικός αριθμός, κατά συνέπεια αυξάνει το θετικό φορτίο του πυρήνα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακτίνα, λόγω μεγαλύτερης έλξης των ηλεκτρονίων από τον πυρήνα. Επίσης,
- Σε μία ομάδα η ατομική ακτίνα αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω. Όσο πηγαίνουμε προς τα κάτω προστίθενται στιβάδες στο άτομο, οπότε μεγαλώνει η απόσταση ηλεκτρονίων σθένους από τον πυρήνα, η έλξη μειώνεται, συνεπώς η ατομική ακτίνα αυξάνεται (βλ. Σχ. 2).

Μετά απ' αυτά φαίνεται ότι το καίσιο (Cs) χάνει πιο εύκολα ένα ηλεκτρόνιο απ' ό,τι το νάτριο (Na). Ομοίως, το χλώριο (Cl) παίρνει πιο εύκολα ένα ηλεκτρόνιο απ' ό,τι το ιώδιο (I).



Σχήμα 2. Οι ατομικές ακτίνες των αλογόνων σε πικόμετρα (pm)
($1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$, $1\text{mm}=1\text{δισεκατομμύριο pm}$). Οι τιμές της ηλεκτραρνητικότητας κατά Pauling είναι: $F=3,98$, $Cl=3,16$, $Br=2,96$, $I=2,66$.

ΓΕΝΙΚΑ Η ΗΛΕΚΤΡΑΡΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ Π.Π. ΑΠΟ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ ($C < F$), ΕΝΩ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΟΜΑΔΑ ΕΛΑΤΤΩΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΠΑΝΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ ($F > Cl$).



Φθόριο (αέριο): πρώτο στοιχείο στην ομάδα των αλογόνων, είναι το πιο ηλεκτραρνητικό χημικό στοιχείο



Το μέταλλο καίσιο (Cs), προτελευταίο στοιχείο στην ομάδα των αλκαλίων: το πιο ηλεκτροθετικό σταθερό χημικό στοιχείο (το στοιχείο φράγκιο, Fr – το τελευταίο αλκάλιο - είναι πιο ηλεκτροθετικό αλλά είναι ασταθές ως ραδιενεργό και έχει συντεθεί τεχνητός – τεχνητό χημικό στοιχείο)

ΑΣΚΗΣΗ: Να συγκρίνεις τα άτομα του λιθίου και του νατρίου ως προς: (α) τον ατομικό αριθμό τους (β) την ακτίνα τους. Με αυτά τα δεδομένα και με τη βοήθεια του νόμου του Coulomb, να προβλέψεις ποιο είναι πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο από τα δύο, το λίθιο ή το νάτριο και αντίστοιχα πιο είναι το πιο ηλεκτροθετικό στοιχείο από τα δύο. Να επιβεβαιώσεις το συμπέρασμά σου με βάση τις τιμές ηλεκτραρνητικότητας κατά Pauling.

3^ο ΩΡΑ Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ

Τι κάνει πραγματικά τα άτομα να σχηματίζουν χημικούς δεσμούς; Χονδρικά,* μπορούμε να δεχθούμε ότι σε ένα μόριο, οι πυρήνες των ατόμων συγκρατούνται μεταξύ τους (συνδέονται με χημικό δεσμό) λόγω της έλξης πυρήνων-ηλεκτρονίων, γεγονός που είναι μια απλή εφαρμογή του νόμου Coulomb. Η σταθερότητα του μορίου, άρα και η απόσταση ισορροπίας των πυρήνων μεταξύ τους (το μήκος του χημικού δεσμού), συνδέεται άμεσα με την ελάχιστη ενέργεια. Έτσι όλοι οι χημικοί δεσμοί (ανεξάρτητα από τον τύπο τους) μπορεί να αιτιολογηθούν με χρήση της ανάγκης επίτευξης ενεργειακής σταθερότητας.

Ο ΟΜΟΙΟΠΟΛΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ

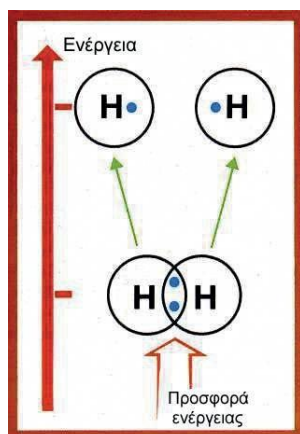
Θα ξεκινήσουμε με τη μελέτη του χημικού δεσμού στα διατομικά μόρια με ίδια άτομα (ομοπυρηνικά μόρια), όπως τα H_2 , F_2 , Cl_2 , O_2 , N_2 .

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τύποι H_2 , F_2 , Cl_2 , O_2 , N_2 , που δείχνουν το είδος και τον αριθμό των ατόμων που παρίστανται σε ένα μόριο ονομάζονται **μοριακοί τύποι**.

Για λόγους που θα γίνουν φανεροί παρακάτω, ο δεσμός σε τέτοια μόρια ονομάστηκε **ομοιοπολικός** και τα μόρια **ομοιοπολικά** (και οι αντίστοιχες χημικές ενώσεις **ομοιοπολικές**).

Το Σχ. 3 δείχνει παραστατικά τη διαφορά της ενέργειας ανάμεσα σε δύο χωριστά άτομα υδρογόνου (H) (πάνω) και στο μόριο του υδρογόνου (H_2) (κάτω). Παρατηρούμε ότι το μόριο του υδρογόνου έχει μικρότερη ενέργεια από τη συνολική ενέργεια των δύο χωριστών ατόμων υδρογόνου, άρα το μόριο είναι σταθερότερο από τα δύο χωριστά άτομα.

* Αυτό είναι μια υπεραπλουστευμένη στατική εικόνα του μορίου: σύμφωνα με την κβαντική θεωρία, η εξήγηση είναι πιο σύνθετη. Να σημειωθεί ακόμη ότι, εκτός από τη δυναμική ενέργεια, στην ενέργεια των ατόμων και των μορίων συμβάλλει και η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων.



Σχήμα 3. Ο σχηματισμός ομοιοπολικού δεσμού οδηγεί το σύστημα σε χαμηλότερη ενέργεια, όπως φαίνεται σχηματικά στην περίπτωση του σχηματισμού του μορίου του υδρογόνου. Αντίθετα, για να διασπαστεί ένας δεσμός απαιτείται ενέργεια (ενέργεια δεσμού). Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια αυτή, τόσο πιο ισχυρός είναι ο δεσμός.

Ο Lewis πρότεινε το 1916 το μεγαλοφύες μοντέλο του κοινού ζεύγους ηλεκτρονίων ανάμεσα στα ίδια άτομα υδρογόνου, φθορίου κ.λπ. Οι δεσμοί αιτιολογούνται με την έννοια του ηλεκτρονιακού ζεύγους, λόγω ηλεκτρονιακής συνεισφοράς και την επικάλυψη των ηλεκτρονιακών νεφών σθένους.

Ο κανόνας των οκτώ ηλεκτρονίων (**KANONAS ΤΩΝ ΟΚΤΩ**), βοηθάει: (α) στην ερμηνεία του αριθμού των ομοιοπολικών δεσμών ανάμεσα σε δύο άτομα, και (β) στη στοιχειομετρία του μορίου της ένωσης.

KANONAS ΤΩΝ ΟΚΤΩ: Τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώσουν τη στιβάδα σθένους των με οκτώ ηλεκτρόνια (εκτός αν είναι η στιβάδα K που συμπληρώνεται με δύο), ώστε να αποκτήσουν τη δομή ευγενούς αερίου.

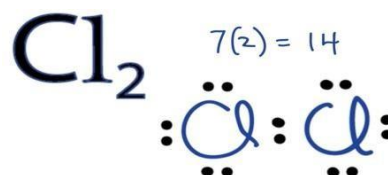
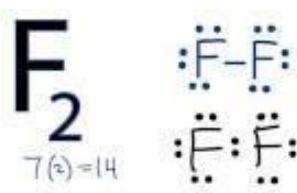
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Σχηματισμός ομοιοπολικού δεσμού στο μόριο H₂

Ας δούμε τώρα πώς μπορούν να συνδεθούν δύο άτομα υδρογόνου, για να σχηματίσουν το μόριο του υδρογόνου. Κάθε άτομο υδρογόνου αμοιβαία συνεισφέρει το μοναδικό μονήρες ηλεκτρόνιο που διαθέτει, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός κοινού ζεύγους ηλεκτρονίων, δηλαδή ενός ζεύγους που να ανήκει και στα δύο άτομα. Κατ' αυτό τον τρόπο τα δύο άτομα αποκτούν δομή ευγενούς αερίου.

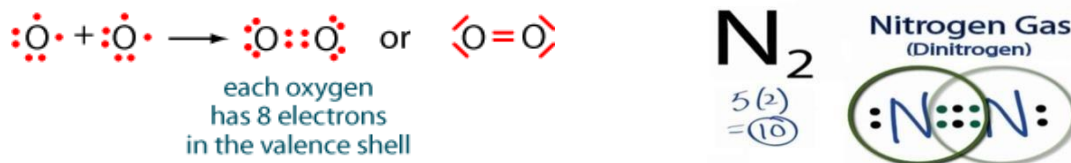


Ο τύπος H:H που δείχνει όλα τα ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων που συμμετέχουν στον χημικό δεσμό ονομάζεται **ηλεκτρονιακός τύπος** ή **δομή Lewis**. Με ανάλογο τρόπο εξηγούμε τον ομοιοπολικό δεσμό και στα μόρια F₂ και Cl₂. Παρατηρούμε ότι στα μόρια H₂, F₂ και Cl₂ έχουμε ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων και λέμε ότι έχουμε ένα **ΑΠΛΟ ΔΕΣΜΟ**, που τον συμβολίζουμε με μία απλή γραμμή ανάμεσα στα δύο άτομα: H—H, F—F, Cl—Cl.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τύποι H—H, F—F, Cl—Cl που δείχνουν τους χημικούς δεσμούς σε ένα μόριο (πώς τα άτομα του μορίου συνδέονται με χημικούς δεσμούς) λέγονται **συντακτικοί τύποι**. Για τα F₂ και Cl₂ οι αντίστοιχοι **ηλεκτρονιακοί τύποι** (δομές Lewis) είναι:



Με παρόμοια συλλογιστική βρίσκουμε ότι στο O_2 έχουμε ΔΙΠΛΟ ΔΕΣΜΟ (δύο κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων) (Συντακτικός τύπος: $O=O$), ενώ στο N_2 έχουμε ΤΡΙΠΛΟ ΔΕΣΜΟ (Συντακτικός: $N\equiv N$) (τρία κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων). Οι αντίστοιχοι ηλεκτρονιακοί τύποι είναι:



4^η ΩΡΑ Ομοιοπολικός δεσμός ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα

Στην περίπτωση των ομοπυρηνικών μορίων, τα δύο ίδια άτομα του δεσμού έχουν την ίδια ηλεκτραρνητικότητα, άρα την ίδια ικανότητα να έλκουν το κοινό ηλεκτρονιακό ζεύγος. Μπορούμε τώρα να μελετήσουμε τον χημικό δεσμό ανάμεσα σε διαφορετικά άτομα (ετεροπυρηνικός δεσμός), όπου τα άτομα έχουν διαφορετικές μεν αλλά όχι πολύ διαφορετικές ηλεκτραρνητικότητες (στην πράξη αμφότερα τα στοιχεία είναι αμέταλλα, π.χ. HCl (υδροχλώριο), H_2O (νερό), NH_3 (αμμωνία)).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Σχηματισμός του μορίου του υδροχλωρίου (HCl) από ένα άτομο ${}_1H$ και ένα άτομο ${}_{17}Cl$.

Τα δύο άτομα αμοιβαία συνεισφέρουν τα μονήρη (μοναχικά) ηλεκτρόνια τους προς σχηματισμό ενός ομοιοπολικού δεσμού. Κατ' αυτό τον τρόπο τα δύο άτομα αποκτούν δομή ευγενούς αερίου. Με βάση



τον ηλεκτρονιακό τύπο παρατηρούμε ότι στο μόριο του HCl έχουμε τρία μη δεσμικά ζεύγη ηλεκτρονίων (ηλεκτρόνια που δεν συμμετέχουν στο σχηματισμό δεσμών) και ένα δεσμικό, τον ομοιοπολικό δεσμό.

Οι παραπάνω παραστάσεις, που δείχνουν την κατανομή των ηλεκτρονίων σθένους στο μόριο, καθώς και το σχηματισμό των ομοιοπολικών δεσμών, ονομάζονται **ηλεκτρονιακοί τύποι ή δομές Lewis**. Ο ομοιοπολικός αυτός δεσμός μπορεί να παρασταθεί και με μία παύλα ($H-Cl$, **συντακτικός τύπος**).

Η φύση του χημικού δεσμού και στην περίπτωση αυτή είναι η ίδια με των ομοπυρηνικών μορίων, δηλαδή έχουμε και εδώ ομοιοπολικούς δεσμούς, με μια βασική διαφορά: τα άτομα έχουν διαφορετικές μεν αλλά όχι πολύ διαφορετικές ηλεκτραρνητικότητες. Αυτό έχει ως συνέπεια την *πόλωση* των δεσμών, που θα μελετήσουμε παρακάτω.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι ο **ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΩΝ ΟΚΤΩ** βοηθάει και εδώ στην ερμηνεία: (α) του αριθμού των ομοιοπολικών δεσμών ανάμεσα σε δύο άτομα, και (β) στη στοιχειομετρία του μορίου της ένωσης [π.χ. $(H)_1(Cl)_1$, $(H)_2(O)_1$, $(H)_3(N)_1$]. Να σημειωθεί όμως ότι σε αρκετές ομοιοπολικές ενώσεις δεν ισχύει ο κανόνας των οκτώ (π. χ. NO , BF_3).

Ο ΙΟΝΤΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ

Ξεκινάμε να μελετάμε έναν δεύτερο τύπο χημικού δεσμού, τον **ιοντικό δεσμό**, από την πειραματική παρατήρηση ότι τήγματα ορισμένων ενώσεων (π.χ. $NaOH$, $NaCl$) (όπως και τα υδατικά διαλύματα

των ηλεκτρολυτών – ΟΞΕΩΝ, ΒΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΛΑΤΩΝ) είναι αγωγοί του συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (ενώ π.χ. μια υγρή ή υγροποιημένη ομοιοπολική ένωση π.χ. το Br_2 δεν είναι). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στους **ηλεκτρολύτες** (τήγματα και υδατικά διαλύματα) υπάρχουν ευκίνητα ηλεκτρικά φορτία, που τα ονομάζουμε **ιόντα**. Στα στερεά δεν υπάρχει κινητικότητα, γι' αυτό δεν έχουμε αγωγή του ηλεκτρισμού. Λόγω του ότι το συνολικό σύστημα (τήγμα ή διάλυμα του ηλεκτρολύτη) είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, αυτό μας οδηγεί στην παραδοχή της ύπαρξης θετικών και αρνητικών ιόντων, τα οποία συνολικά μέσα στον ηλεκτρολύτη έχουν ίσο και αντίθετο μεταξύ τους φορτίο.

ΠΡΟΣΟΧΗ. Ως ηλεκτρολύτης αυστηρά νοείται το τήγμα ή το υδατικό διάλυμα. Κατ' επέκταση όμως ονομάζουμε ηλεκτρολύτες και τις ίδιες τις ουσίες (ΟΞΕΑ, ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΛΑΤΑ).

Πειράματα δείχνουν ότι στις ουσίες των οποίων τα τήγματα είναι ηλεκτρικοί αγωγοί τα ιόντα προϋπάρχουν στο κρυσταλλικό πλέγμα. Στο κρυσταλλικό πλέγμα, τα αντιθέτως φορτισμένα ιόντα έλκονται μεταξύ τους με ελκτικές δυνάμεις Coulomb. Εξάλλου, τα ομοσήμως φορτισμένα ιόντα απωθούνται μεταξύ τους με ελκτικές δυνάμεις Coulomb. Οι δυνάμεις αυτές ασκούνται ανάμεσα σε οποιαδήποτε δύο ιόντα του κρυσταλλικού πλέγματος, είναι όμως πιο ισχυρές ανάμεσα σε δύο ιόντα όσο τα ιόντα είναι πλησιέστερα μεταξύ τους (βλ. Σχ. 4). Η χημική ανάλυση μάς δείχνει την αναλογία θετικών και αρνητικών ιόντων σε μια ιοντική ένωση, π.χ. $(\text{Na})_1(\text{Cl})_1$, $(\text{Ca})_1(\text{Cl})_2$, $(\text{Fe})_1(\text{Cl})_2$, $(\text{Fe})_1(\text{Cl})_2$, $(\text{Na})_2(\text{O})_1$, $(\text{Ca})_1(\text{S})_1$. Εξάλλου, πειραματικά δεδομένα οδηγούν στο φορτίο κάθε είδους ιόντος, π.χ. Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , O^{2-} , S^{2-} . Τα φορτία αυτά εξηγούν και την αναλογία θετικών και αρνητικών ιόντων σε μια ιοντική ένωση.

5^η ΩΡΑ Για να εξηγήσουμε τώρα τα φορτία των ιόντων χρησιμοποιούμε το ΜΟΝΤΕΛΟ της μεταφοράς ηλεκτρονίων από το άτομο του ηλεκτροθετικού στο άτομο του ηλεκτραρνητικού στοιχείου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κατιόντος και ενός ανιόντος, με εφαρμογή του **κανόνα των οκτώ**.

ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΩΝ ΟΚΤΩ: Τα άτομα έχουν την τάση να συμπληρώσουν τη στιβάδα σθένους των με οκτώ ηλεκτρόνια (εκτός αν είναι η στιβάδα K που συμπληρώνεται με δύο), ώστε να αποκτήσουν τη δομή ευγενούς αερίου.

Σχηματισμός ιοντικών ενώσεων

Το άτομο ενός στοιχείου της ομάδας των αλκαλίων (π.χ. του νατρίου, Na) έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο στην εξωτερική του στιβάδα. Το ιόν νατρίου, Na^+ , έχει αποβάλει το ηλεκτρόνιο σθένους του και έχει αποκτήσει δομή ευγενούς αερίου. Εξάλλου, το άτομο ενός στοιχείου της ομάδας των αλογόνων (π.χ. του χλωρίου, Cl) έχει στην εξωτερική του στιβάδα επτά ηλεκτρόνια. Το ιόν χλωρίου, Cl^- , έχει προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο και έχει αποκτήσει και αυτό δομή ευγενούς αερίου. Γενικά, στοιχεία που έχουν «λίγα» ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα έχουν την τάση να δίνουν ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας κατιόντα (**ηλεκτροθετικά στοιχεία**). Αυτό συμβαίνει συνήθως με τα στοιχεία των τριών πρώτων κύριων ομάδων του περιοδικού πίνακα. Αντίθετα, στοιχεία που έχουν «πολλά» ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα έχουν τάση να παίρνουν ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας ανιόντα (**ηλεκτραρνητικά στοιχεία**). Αυτό συμβαίνει συνήθως με τα στοιχεία των τριών τελευταίων ομάδων (χωρίς να μετρούμε την ομάδα των ευγενών αερίων) στο δεξιό μέρος του περιοδικού πίνακα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: Κατά τον σχηματισμό ιοντικής ένωσης μεταξύ δύο ατόμων, το ένα άτομο έχει αποβάλλει 1 έως 3 ηλεκτρόνια, παίρνοντας έτσι τη μορφή κατιόντος (θετικό ιόν) (π.χ. Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+}). Αντίθετα, το άλλο άτομο έχει προσλάβει 1 έως 3 ηλεκτρόνια, παίρνοντας έτσι τη μορφή ανιόντος (αρνητικό ιόν) (Cl^- , O^{2-} , N^{3-}).

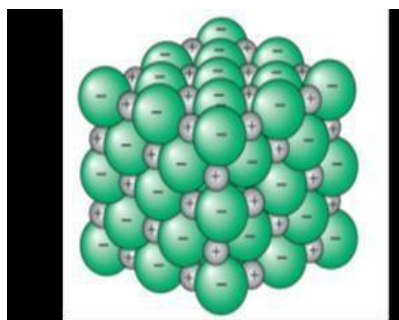
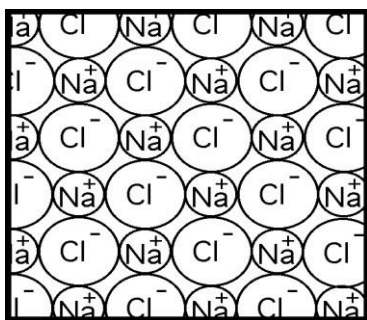
Ας δούμε ένα ακόμη παράδειγμα σχηματισμού ιοντικής ένωσης και συγκεκριμένα του φθοριούχου λιθίου, LiF , από το μέταλλο λίθιο (${}_3\text{Li}$) και το αμέταλλο φθόριο (${}_9\text{F}$). Η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων είναι: ${}_3\text{Li}$ (2,1) και ${}_9\text{F}$ (2,7). Επομένως, στο LiF έχουμε: Li^+ (2) και F^- (2,8).

Με ανάλογο τρόπο σχηματίζεται η ιοντική ένωση NaCl , από το νάτριο (${}_{11}\text{Na}$) και χλώριο (${}_{17}\text{Cl}$). Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του νατρίου είναι: ${}_{11}\text{Na}$ (2,8,1). Η ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου του χλωρίου είναι: ${}_{17}\text{Cl}$ (2,8,7). Επομένως, στο NaCl έχουμε: Na^+ (2,8) και Cl^- (2,8,8).

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1: Οι ιοντικές ενώσεις έχουν κρυσταλλική δομή, όπου τα ιόντα συσσωρεύονται, ώστε το κάθε κατιόν να περιβάλλεται από έξι ανιόντα και κάθε ανιόν να περιβάλλεται από έξι κατιόντα (βλ. Σχ. 4). Αυτή η «συσσωρευμένη» κατάσταση εξασφαλίζει την ελάχιστη ενέργεια στο σύστημα, δηλαδή τη μέγιστη σταθερότητα. Εξάλλου, είναι φανερό ότι **στον κρύσταλλο της ιοντικής ένωσης όπως το NaCl , οι δυνάμεις Coulomb ασκούνται προς όλες τις κατευθύνσεις, ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι ιόντων Na^+ και Cl^- .**

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2: ΣΤΙΣ ΙΟΝΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΜΟΡΙΟΥ, ΕΝΩ Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ-ΤΟΥΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΑΠΛΩΣ ΤΗΝ ΑΠΛΟΥΣΤΕΡΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟ

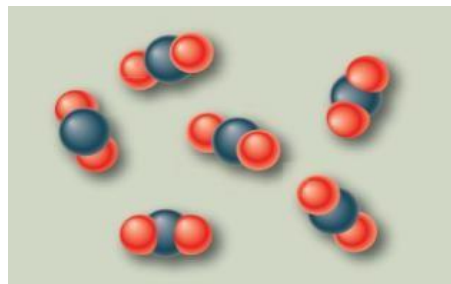
ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 3: Αν θεωρήσουμε τον σχηματισμό κρυσταλλικού NaCl(s) από τη χημική αντίδραση στοιχειακού μεταλλικού νατρίου, Na(s) , με στοιχειακό αέριο χλώριο, $\text{Cl}_2(\text{g})$, έχουμε μια πολύπλοκη διαδικασία και όχι απλώς τον σχηματισμό μεμονωμένων ιόντων $\text{Na}^+(\text{g})$ και $\text{Cl}^-(\text{g})$ από μεμονωμένα άτομα Na(g) και Cl(g) με αποβολή και πρόσληψη ενός ηλεκτρονίου αντιστοίχως. Να σημειωθεί ακόμη ότι ένα μεμονωμένο ιόν $\text{Na}^+(\text{g})$ και ένα μεμονωμένο ιόν $\text{Cl}^-(\text{g})$ δεν είναι ενεργειακά σταθερότερα από ένα μεμονωμένο άτομο Na(g) και ένα μεμονωμένο άτομο Cl(g) . Όπως αναφέραμε παραπάνω (Παρατήρηση 1) η «συσσωρευμένη» κρυσταλλική κατάσταση εξασφαλίζει την ελάχιστη ενέργεια στο σύστημα, δηλαδή τη μέγιστη σταθερότητα. Συμπεραίνουμε ότι *δεν είναι ο κανόνας των οκτώ που «επιβάλλει» τον σχηματισμό του ιοντικού δεσμού*. Όπως είδαμε όμως, *ο κανόνας των οκτώ εξηγεί τα φορτία των ιόντων*.



Σχήμα 4. Δισδιάστατη (αριστερά) και τρισδιάστατη (δεξιά) απεικόνιση της δομής (του κρυστάλλου) του NaCl

Το Σχ. 4 δείχνει αριστερά μια δισδιάστατη και δεξιά μια τρισδιάστατη απεικόνιση της δομής του NaCl . Σε αυτή κάθε κατιόν περιβάλλεται από τέσσερα ανιόντα και κάθε ανιόν περιβάλλεται από τέσσερα κατιόντα. Το πέμπτο και το έκτο αντίθετο ιόν βρίσκεται στα παράλληλα επίπεδα ιόντων πάνω και κάτω από το επίπεδο του χαρτιού (Σχ. 4, αριστερά). Επομένως, **στις ιοντικές ενώσεις δεν υπάρχει η έννοια του μορίου** (σύγκρινε με την περίπτωση του ομοιοπολικού δεσμού στο μόριο H-H ή με την περίπτωση του νερού στο Σχ. 5), ενώ ο χημικός τύπος, πχ. NaCl , δείχνει την απλούστερη ακέραια αναλογία κατιόντων και ανιόντων στον κρύσταλλο.

Σχήμα 5. Διακεκριμένα μόρια νερού
(περίπτωση ομοιοπολικού δεσμού)



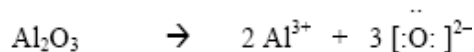
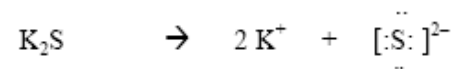
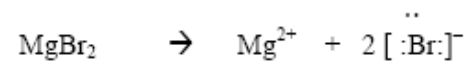
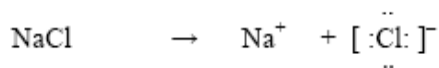
6^η ΩΡΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΕΝΩΣΕΩΝ

ΙΟΝΤΙΚΩΝ

Ionic compounds: Lewis structures

Όπως κάναμε για τις ομοιοπολικές/μοριακές ενώσεις, μπορούμε και για τις ιοντικές ενώσεις να γράψουμε **ηλεκτρονιακούς τύπους (δομές Lewis)**, που δείχνουν και στην περίπτωση αυτή όλα τα ηλεκτρόνια σθένους των δύο ιόντων:



ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στους ηλεκτρονιακούς τύπους των ιοντικών ενώσεων, το ανιόν με τα ηλεκτρόνια σθένους του τοποθετείται μέσα σε αγκύλες και στο δεξιό μέρος έξω από τις αγκύλες σημειώνεται το φορτίο του.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Λόγω του ότι για τον σχηματισμό του κατιόντος το άτομο του μετάλλου έχει αποβάλει το ή τα ηλεκτρόνια σθένους του, το οποίο ή τα οποία τα έχει προσλάβει το άτομο του αμετάλλου, στους ηλεκτρονιακούς τύπους τα κατιόντα φαίνονται χωρίς ηλεκτρόνια.

Χαρακτηριστικά ιοντικών (ή ετεροπολικών) ενώσεων

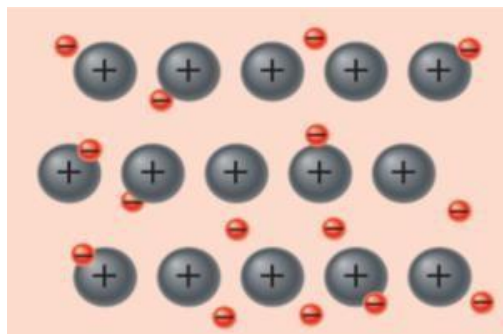
Τα βασικά χαρακτηριστικά των ιοντικών ενώσεων είναι:

1. Ιοντικές ενώσεις είναι κατά πλειονότητα τα οξείδια των μετάλλων (π.χ. Na_2O , CaO) τα υδροξείδια των μετάλλων [π.χ. NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$] και τα άλατα (π.χ. NaCl , CaCl_2).^{**}
2. Ένας γενικός κανόνας (με εξαιρέσεις όπως θα δούμε παρακάτω) είναι ότι ο δεσμός ανάμεσα σε ένα άτομο μετάλλου (π.χ. Li , Na , Ca) και σε ένα άτομο αμετάλλου στοιχείου (π.χ. O , F , Cl) είναι ιοντικός (οπότε ο δεσμός τελικά είναι ανάμεσα σε ιόντα Li^+ , Na^+ , Ca^{2+} , O^{2-} , F^- , Cl^-) και όχι ανάμεσα σε ουδέτερα άτομα.
3. Στις ιοντικές ή ετεροπολικές ενώσεις δεν υπάρχουν μόρια. Σχηματίζεται κρύσταλλος του οποίου οι δομικές μονάδες είναι τα ιόντα (ιοντικός κρύσταλλος).
4. Οι ιοντικές ενώσεις έχουν υψηλά σημεία τήξεως λόγω των ισχυρών δυνάμεων Coulomb, που συγκρατούν τα ιόντα τους στον κρύσταλλο. Π.χ. το κοινό αλάτι (χλωριούχο νάτριο) τήκεται περίπου στους 800°C .
5. Οι κρύσταλλοί τους είναι σκληροί και εύθραυστοι και όχι ελατοί και όλκιμοι, όπως είναι οι κρύσταλλοι των μετάλλων.

^{**} Οι τύποι των ιοντικών ενώσεων θα μπορούσαν να γράφονται έτσι ώστε να δείχνουν σαφώς τα ιόντα: $(\text{Na}^+)_2\text{O}^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}\text{O}^{2-}$, $\text{Na}^+(\text{OH})^-$, $\text{Ca}^{2+}[(\text{OH})^-]_2$, Na^+Cl^- , $\text{Ca}^{2+}(\text{Cl}^-)_2$.

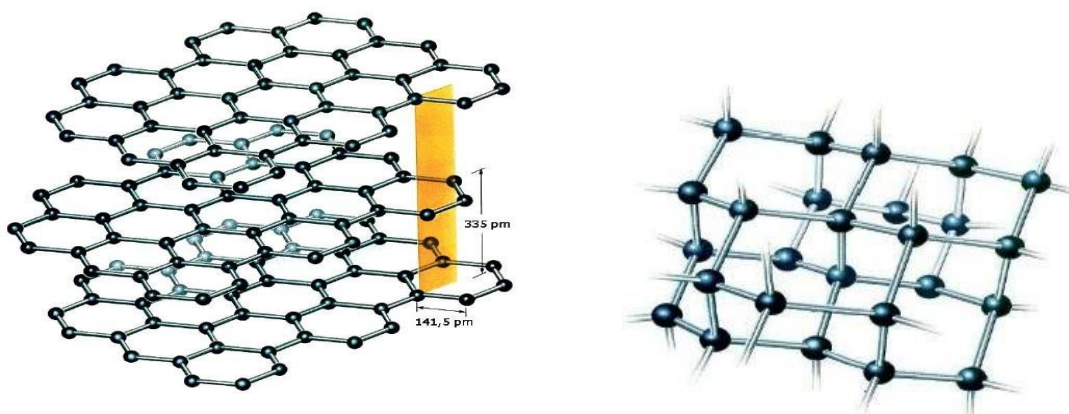
6. Σε αντίθεση με τους κρυστάλλους των μετάλλων (μεταλλικά κρυσταλλικά πλέγματα, βλ. Σχήμα 6), οι ιοντικές ενώσεις σε στερεά κατάσταση είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Όμως, τα τήγματα και τα υδατικά τους διαλύματα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.
7. Πολλές ιοντικές ενώσεις είναι ευδιάλυτες στο νερό.

Σχήμα 6. Απεικόνιση του χημικού δεσμού στα μέταλλα (μεταλλικός δεσμός). Παρατηρούμε ότι κατιόντα του μεταλλικού στοιχείου σχηματίζουν ένα σταθερό μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα. Αντίθετα, τα ηλεκτρόνια που 'προήλθαν' από τον σχηματισμό των κατιόντων του μεταλλικού στοιχείου (κάθε άτομο μετάλλου έχει αποβάλει ένα ηλεκτρόνιο) δεν ανήκουν σε συγκεκριμένα κατιόντα, αλλά μπορούν να κινούνται σε όλο το πλέγμα, χωρίς να ανήκουν σταθερά σε συγκεκριμένα μεταλλικά ιόντα. Στην κινητικότητα αυτή των ηλεκτρονίων οφείλεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα των μετάλλων.



Χαρακτηριστικά ομοιοπολικών (ή μοριακών) ενώσεων

1. Οι ομοιοπολικές (ή μοριακές) ενώσεις διαφέρουν εντυπωσιακά από τις ιοντικές, είναι δηλαδή διακριτά συμπλέγματα ατόμων (μόρια) και όχι εκτενή συσσωματώματα (κρύσταλλοι). Επιπλέον, οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων είναι ασθενείς σε σχέση με αυτές μεταξύ των ιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα. Γι' αυτό οι μοριακές ενώσεις σχηματίζουν μαλακά στερεά με χαμηλά σημεία τήξεως, ή υγρά με χαμηλά σημεία βρασμού, ή αέρια σώματα. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις στις οποίες τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους ΜΕ ΟΜΟΙΟΠΟΛΙΚΟΥΣ ΔΕΣΜΟΥΣ και σχηματίζουν μεγαλομόρια/ γιγαντιαίες δομές, όπως είναι το διαμάντι ή ο γραφίτης, δύο μεγαλομόρια άνθρακα (βλ. Σχ. 7), τα οποία χαρακτηρίζονται από εξαιρετική σκληρότητα και πολύ υψηλά σημεία τήξεως.
2. Ομοιοπολικές ενώσεις είναι κατά το πλείστον οι ενώσεις μεταξύ αμετάλλων και αμετάλλων: HCl , NH_3 , CH_4 , CCl_4 , οξείδια αμετάλλων (π.χ. H_2O , CO , CO_2 , SO_2).
3. Σε καθαρή κατάσταση είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, ενώ τα υδατικά διαλύματα ορισμένων ομοιοπολικών ενώσεων (π.χ. οξέων) άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

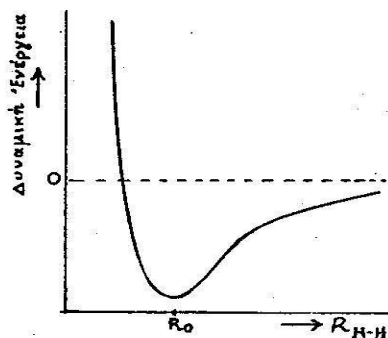


Σχήμα 7. Ο γραφίτης (αριστερά) και το διαμάντι (δεξιά) αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα κρυσταλλικών στερεών των οποίων τα άτομα συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς (ομοιοπολικοί κρύσταλλοι).

7^η ΩΡΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΜΟΙΟΠΟΛΙΚΟ ΔΕΣΜΟ

Το διάγραμμα του Σχ. 8 δίνει γραφικά τη μεταβολή της (ηλεκτρικής δυναμικής) ενέργειας με την απόσταση μεταξύ των δύο ατόμων υδρογόνου ($R_{\text{H-H}}$) στο μόριο του υδρογόνου (H_2). Παρατηρούμε ότι σε μια ορισμένη διαπυρηνική απόσταση R_0 έχουμε ελάχιστη ενέργεια, άρα την πιο σταθερή κατάσταση. Η R_0 ονομάζεται *μήκος του χημικού δεσμού*.

Σχήμα 8. Μεταβολή της δυναμικής ενέργειας με την απόσταση H-H στο μόριο του υδρογόνου.

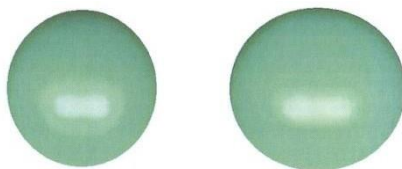


ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ (ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ H ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΟΡΙΟΥ H_2

Η σύγχρονη θεωρητική χημεία (ή κβαντική χημεία) μπορεί να υπολογίσει με τις μεθόδους της κβαντομηχανικής την πιο σταθερή γεωμετρία (τη βέλτιστη γεωμετρία: τη γεωμετρία με τη μικρότερη ενέργεια) ατόμων και μορίων. Οι υπολογισμοί αυτοί είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι και μπορεί να γίνουν μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το αποτέλεσμα του κβαντομηχανικού υπολογισμού της βέλτιστης γεωμετρίας του ατόμου του υδρογόνου (αριστερά) και του μορίου του υδρογόνου (δεξιά). Το άτομο του H έχει σφαιρικό σχήμα ενώ το μόριο H_2 έχει ελλειψοειδές σχήμα (σαν οι δύο σφαίρες των ατομικών υδρογόνων να έχουν εισχωρήσει η μία μέσα στην άλλη). Και στα δύο συστήματα έχουμε ομοιόμορφη κατανομή του ηλεκτρονιακού ηλεκτρικού φορτίου. Αυτό δείχνεται συμβατικά με το πράσινο χρώμα. Τέτοια συστήματα τα λαμβάνουμε ως **ηλεκτρικώς ουδέτερα**, άρα το πράσινο χρώμα δείχνει ηλεκτρικά ουδέτερες περιοχές.

Να σημειωθεί ότι οι μορφές αυτές ανταποκρίνονται στη σύγχρονη κβαντομηχανική εικόνα των ατόμων και των μορίων, όπου αντί των διακεκριμένων ηλεκτρονίων που κινούνται σε τροχιές/στιβάδες έχουμε ένα **ηλεκτρονιακό νέφος**. Αυτό το ηλεκτρονιακό νέφος δείχνουν τα παρακάτω σχήματα.



Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχουμε απλώς εισχώρηση της σφαίρας του ενός ατομικού υδρογόνου μέσα στη σφαίρα του άλλου ατομικού υδρογόνου (σαν δηλαδή να έχουμε δύο τεμνόμενες αναλλοίωτες σφαίρες), αλλά προκαλείται και μια συρρίκνωση της καθεμιάς σφαίρας λόγω ακριβώς της έλξης του ηλεκτρονιακού νέφους του ενός ατόμου από τον πυρήνα του άλλου ατόμου. Όπως προκύπτει, η συρρίκνωση των ατομικών σφαιρών συντελεί τελικά στη σταθεροποίηση του μορίου.

ΜΗ ΠΟΛΩΜΕΝΟΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΜΕΝΟΣ ΟΜΟΙΟΠΟΛΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ

Στην περίπτωση των ομοπυρηνικών ομοιοπολικών μορίων (όπως το H_2), τα δύο ίδια άτομα του δεσμού έχουν την ίδια ικανότητα να έλκουν τα ηλεκτρόνια, αφού έχουν την ίδια ηλεκτραρνητικότητα. Το κοινό ηλεκτρονιακό ζεύγος θα βρίσκεται σε ίση απόσταση από τα δύο άτομα. Ένας τέτοιος δεσμός λέγεται **μη πολωμένος** (βλ. Σχ. 9, αριστερά). Στην περίπτωση όμως των ετεροπυρηνικών μορίων, το ηλεκτρονιακό ζεύγος θα βρίσκεται πιο κοντά στο πιο ηλεκτραρνητικό άτομο. Τότε το μόριο έχει χαρακτηριστικά διπόλου: το πιο ηλεκτραρνητικό άτομο φορτίζεται αρνητικά, ενώ το λιγότερο ηλεκτραρνητικό άτομο φορτίζεται θετικά. Ένας τέτοιος ομοιοπολικός δεσμός λέγεται **πολωμένος** (βλ. Σχ. 9, δεξιά).



Σχήμα 9. Η δομή του μορίου του υδρογόνου (H_2) (αριστερά) και η δομή του μορίου του νερού (H_2O) (δεξιά), όπως αυτές υπολογίζονται κβαντομηχανικά. Στο H_2 ο χημικός δεσμός δεν είναι πολωμένος, άρα έχουμε ομοιόμορφη κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου (αυτό δείχνεται με το πράσινο χρώμα). Στο H_2O παρατηρήστε την αρνητική περιοχή (κόκκινο χρώμα) προς την πλευρά του οξυγόνου, τη θετική περιοχή (μπλε χρώμα) προς την πλευρά των δύο υδρογόνων, καθώς και μια ενδιάμεση ουδέτερη περιοχή.

8^η ΩΡΑ ΜΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΗΜΙΚΟ ΔΕΣΜΟ: Ο ΧΗΜΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ ΣΑΝ ΕΝΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΔΙΕΛΚΥΣΤΙΝΔΑΣ

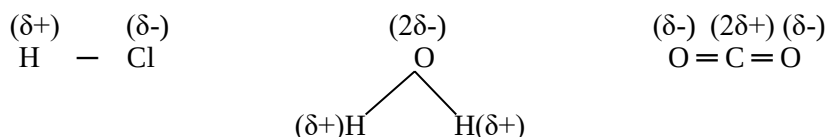
Ας φανταστούμε δύο φίλους (δύο «άτομα») να παίζουν το παιχνίδι διελκυστίνδα – να κρατούν ένα χοντρό σχοινί στα δύο άκρα του και να διαγωνίζονται ποιος θα τραβήξει δυνατότερα το σχοινί ώστε να σύρει τον συμπαίκτη προς το μέρος του. Ας φανταστούμε ακόμη ότι κάνει κρύο και ότι στο μέσο του σχοινιού υπάρχει στερεωμένη μια πηγή θερμότητας (μια θερμάστρα), οπότε ο καθένας από τους δύο παίκτες θα προσπαθεί να φέρει κοντά του τη θερμάστρα για να ζεσταθεί περισσότερο. Στη συνήθη περίπτωση όπου ο ένας παίκτης είναι πιο δυνατός από τον άλλο, αυτός θα σύρει το σχοινί και τη θερμάστρα κοντύτερά του, αλλά θα αναγκαστεί να την κρατάει σε κάποια απόσταση ώστε να μην καίγεται. Αν συμβεί οι δύο παίκτες να έχουν ακριβώς την ίδια δύναμη, η θερμάστρα θα διατηρείται σε ίση απόσταση από τους δύο. Και στις δύο περιπτώσεις, ενδέχεται στιγμιαία ο ένας παίκτης να μετατοπίσει τη θερμάστρα προς την πλευρά του, αλλά αμέσως ο άλλος θα την επαναφέρει στη θέση ισορροπίας.

Το συμπέρασμα είναι ότι οι δύο παίκτες θα συγκρατούνται μεταξύ τους με το να διεκδικούν ο καθένας για τον εαυτό του τη θερμάστρα. Βλέπουμε λοιπόν την αναλογία με τον χημικό δεσμό. Παρακάτω, να κάνετε τις αντιστοιχίες ανάμεσα στους δύο παίκτες και στα άτομα (τους δύο «παίκτες») του χημικού δεσμού:

Παιχνίδι διελκυστίνδας	$\leftrightarrow$	Χημικός δεσμός
Παίκτες	$\leftrightarrow$	
Δύναμη του παίκτη	$\leftrightarrow$	
Θερμάστρα	$\leftrightarrow$	
Παίκτες με ίδια δύναμη	$\leftrightarrow$	
Παίκτες με διαφορετική δύναμη	$\leftrightarrow$	

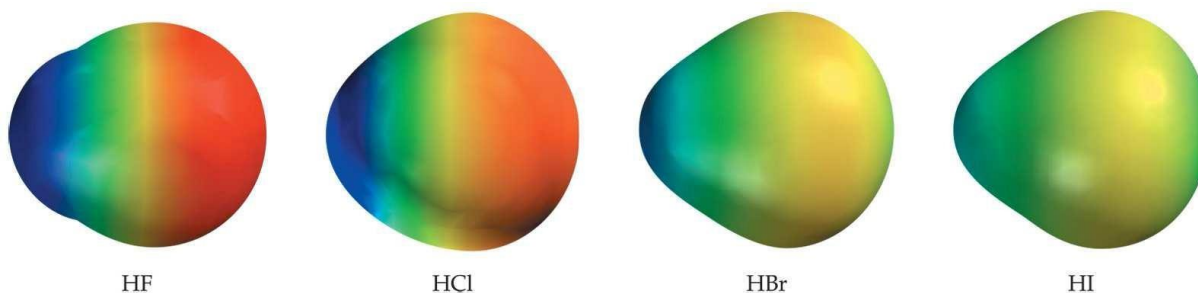
ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Είναι φανερό ότι πόλωση έχουμε και στον ιοντικό δεσμό. Η διαφορά με τον πολωμένο ομοιοπολικό δεσμό είναι ότι ενώ στον ιοντικό δεσμό έχουμε ακέραια ηλεκτρικά φορτία (ακέραια πολλαπλάσια του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου) ($1+$, $2+$, $3+$, $1-$, $2-$, $3-$), στον πολωμένο ομοιοπολικό δεσμό θα έχουμε κλάσμα του στοιχειώδους φορτίου $\delta+$ και $\delta-$ όπου δ θετικός αριθμός < 1 .

Επομένως, ο ιοντικός δεσμός μπορεί να θεωρηθεί ως μια ακραία περίπτωση του πολωμένου ομοιοπολικού δεσμού, όπου στον ιοντικό δεσμό η πόλωση είναι μεγαλύτερη (βλ. Σχ. 11).



Το δ βέβαια ποικίλει ανάλογα με τη διαφορά στις ηλεκτραρνητικότητες των δύο ατόμων του δεσμού. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά αυτή, τόσο πιο πολωμένος ο δεσμός. Το Σχ. 10 δείχνει τη διαφορά της πόλωσης των χημικών δεσμών στα μόρια των υδραλογόνων.

ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΣΤΑ ΜΟΡΙΑ ClF ΚΑΙ CF_4 με βάση τις ηλεκτραρνητικότητες κατά Pauling.

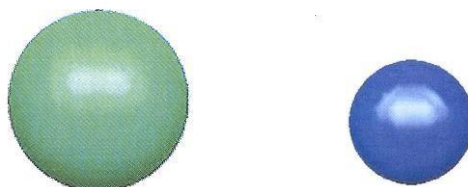


Σχήμα 10. Η δομή των μορίων υδραλογόνων, όπου οι χρωματικές διαφορές δείχνουν τη διαφορά πόλωσης των χημικών δεσμών. Η διαφορά των ηλεκτραρνητικότητων είναι 1,9 για το HF, 0,9 για το HCl, 0,7 για το HBr και 0,4 για το HI.

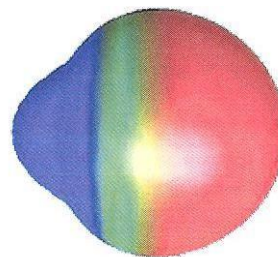
ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΛΙΘΙΟΥ (Li) ΚΑΙ ΤΟΥ ΙΟΝΤΟΣ ΛΙΘΙΟΥ (Li⁺)

Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν και συγκρίνουν τη γεωμετρία του ατόμου λιθίου (Li) (αριστερά) και του ιόντος λιθίου (Li⁺) (δεξιά). Το θετικό φορτίο του ιόντος Li⁺: δείχνεται με έντονο μπλε χρώμα, ενώ το ουδέτερο άτομο Li δείχνεται με πράσινο χρώμα.

Η αποβολή ενός ηλεκτρονίου από ένα άτομο Li οδηγεί σε μείωση της ατομικής του ακτίνας. Γι' αυτό και τα κατιόντα έχουν πάντοτε μικρότερο μέγεθος από τα αντίστοιχα ουδέτερα άτομα. Αντίθετα, η πρόσληψη ηλεκτρονίου από ένα ουδέτερο άτομο οδηγεί σε αύξηση της ατομικής του ακτίνας, γι' αυτό και τα ανιόντα έχουν πάντοτε μεγαλύτερο μέγεθος από τα αντίστοιχα ουδέτερα άτομα.



Σχήμα 11. Η γεωμετρία του συστήματος που αποτελείται από ένα άτομο λιθίου και ένα άτομο υδρογόνου (υδρίδιο του λιθίου, Li-H), όπως υπολογίζεται κβαντομηχανικά. (Το λίθιο είναι αριστερά και το υδρογόνο δεξιά). Παρατηρούμε σημαντική μείωση του μεγέθους του ατόμου Li, καθώς και το μεγάλο θετικό φορτίο του (μπλέ χρώμα) σε σχέση με ένα ανεξάρτητο άτομο Li (βλ. και παραπάνω εικόνα). Αυτό δείχνει ότι στο σύστημα Li-H είναι καλύτερο να δεχθούμε ότι το ηλεκτρονιακό ζεύγος του χημικού δεσμού δεν είναι κοινό (όπως στον ομοιοπολικό δεσμό) αλλά ανήκει εξολοκλήρου στο υδρογόνο, που σχηματίζει το ανιόν H⁻ (το αρνητικό φορτίο του H⁻ δείχνεται με το κόκκινο χρώμα). Εξάλλου, το λίθιο έχει χάσει το ηλεκτρόνιο σθένους του σχηματίζοντας το κατιόν Li⁺. Επομένως δεχόμαστε ότι το σύστημα Li-H αποτελείται από κατιόν λιθίου και από ανιόν υδρογόνου (Li⁺- H⁻) (έχουμε δηλαδή ιοντικό δεσμό).*



9^η ΩΡΑ – ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ & ΕΝΙΣΧΥΣΗ

ΔΕΣΜΟΙ – ΟΧΙ ΔΥΟ ΑΚΡΑΙΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ, ΑΛΛΑ ΜΙΑ ΣΥΝΕΧΟΜΕΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Είδαμε παραπάνω η διαφορά των ηλεκτραρνητικοτήτων των δύο ατόμων που συμμετέχουν σε ένα χημικό δεσμό ποικίλει, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια ποικιλία πόλωσης των δεσμών (βλ. Σχ. 10). Επειδή η πολικότητα ενός ομοιοπολικού δεσμού τού δίνει χαρακτηριστικά ιοντικού δεσμού, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις καταρχήν ιοντικών δεσμών όπου η διαφορά των ηλεκτραρνητικοτήτων των δύο ατόμων που συμμετέχουν στον δεσμό δεν είναι μεγάλη, έτσι αποδίδουμε στους πολωμένους ομοιοπολικούς και στους ιοντικούς δεσμούς ένα ποσοστό ομοιοπολικού και ένα ποσοστό ιοντικού

* Η ηλεκτρονιακή δομή των δύο παραπάνω ατόμων είναι: ${}_3\text{Li}$ (2,1) και ${}_1\text{H}$ (1) Επομένως, στο LiH έχουμε τα ιόντα Li⁺ (2) και H⁻ (2).

χαρακτήρα. Παρατηρούμε ότι στη γενική περίπτωση ένας χημικός δεσμός (ομοιοπολικός ή ιοντικός) παρουσιάζει **εν μέρει ομοιοπολικό** και **εν μέρει ιοντικό χαρακτήρα**, επομένως δεν έχουμε δύο ακραίες περιπτώσεις δεσμών (στο ένα άκρο τους ομοιοπολικούς και στο άλλο άκρο τους ιοντικούς δεσμούς), αλλά μια συνεχόμενη προσέγγιση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

- Θεωρούμε τον χημικό δεσμό ιοντικό όταν ο ιοντικός χαρακτήρας είναι μεγαλύτερος από τον ομοιοπολικό χαρακτήρα. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά στις *ηλεκτραρνητικότητες* μεταξύ των δύο ατόμων που υπεισέρχονται σε έναν δεσμό, τόσο πιο ιοντικός/πολικός είναι ο δεσμός.
- Δεσμοί που εν μέρει έχουν ιοντικό κι εν μέρει ομοιοπολικό χαρακτήρα ονομάζονται *πολικοί ομοιοπολικοί δεσμοί*. Π.χ. στο χλωριούχο νάτριο (NaCl) και στο οξείδιο του μαγνησίου (MgO) (ιοντικές ενώσεις) υπάρχει μικρό ποσοστό ομοιοπολικού χαρακτήρα, ενώ στο διοξείδιο του πυριτίου SiO₂ (που είναι ένωση μεταξύ ημιμετάλλου, του πυριτίου, και αμετάλλου, του οξυγόνου) έχουμε περίπου 50% ιοντικό και περίπου 50% ομοιοπολικό χαρακτήρα!

ΑΣΚΗΣΗ. Να συγκρίνετε τις διαφορές ηλεκτραρνητικότητας στις ενώσεις NaCl, MgO, SiO₂ και H₂O.

Μακροσκοπικά η συνέχεια μεταξύ ιοντικού και ομοιοπολικού δεσμού φαίνεται από την ποικιλία τιμών που παίρνουν τα σημεία τήξεως διαφόρων αλογονούχων ενώσεων (βλ. παρακάτω πίνακα). Προσέξτε ποιες από τις αλογονούχες ενώσεις είναι μεταξύ μετάλλου και αμετάλλου και ποιες μεταξύ αμετάλλου και αμετάλλου, καθώς και ποιες είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου και ποιες υγρά. Οι πρώτες πέντε ενώσεις έχουν ισχυρότερο τον ιοντικό χαρακτήρα, οι τελευταίες τρεις έχουν ισχυρότερο τον ομοιοπολικό χαρακτήρα, ενώ το AlCl₃ (αν και ένωση μεταξύ μετάλλου και αμετάλλου) έχει περισσότερο ομοιοπολικό χαρακτήρα παρά ιοντικό.

Σημεία τήξεως διαφόρων αλογονούχων ενώσεων:

	NaF(s)	NaCl(s)	NaBr(s)	NaI(s)	MgCl ₂ (s)	AlCl ₃ (s)	SiCl ₄ (l)	SCl ₂ (l)	PCl ₃ (l)
σ.τ. °C	+902	+801	+755	+651	+714	+190	−70	−78	−112

ΛΟΙΠΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΩΡΕΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**Σύγκριση παρόντος διδακτικού υλικού με το δημοσιευμένο επόμενο
εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο για το χημικό δεσμό**

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο κεφάλαιο 3, το διδακτικό υλικό που παρουσιάστηκε παραπάνω στο παρόν Παράρτημα Ι διδάχθηκε σε λύκειο επαρχιακής πόλης το σχολικό έτος 2014 – 2015. Την επόμενη σχολική χρονιά, 2015 -2016, το διδακτικό υλικό τροποποιήθηκε έτσι ώστε η δομή του να προσεγγίζει περισσότερο τη δομή που έχει το υλικό του σχολικού εγχειριδίου, προστέθηκαν όμως και επιπλέον πληροφορίες σε αυτό. Το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο που δημιουργήθηκε διδάχθηκε σε ένα (θεωρούμενο πολύ καλό) ιδιωτικό σχολείο μεγάλης ελληνικής πόλης. Τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε την ίδια σχολική χρονιά αξιοποιήθηκαν σε δημοσιευθείσα εργασία των Tsaparlis, Pappa και Byers (2018). Το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο παρατίθεται, μεταφρασμένο στα αγγλικά, στο Παράρτημα 2 της συγκεκριμένης δημοσιευθείσας εργασίας.

Από τη σύγκριση των δύο διδακτικών υλικών προκύπτουν τα εξής:

A) Τρόπος παρουσίασης

- A1) Το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο έχει ενσωματώσει και ένα χρωματιστό πλαίσιο στο δεξιό τμήμα του κειμένου όμοιο με αυτό του σχολικού βιβλίου. Στο πλαίσιο αυτό είτε έχουν μεταφερθεί είτε στοιχεία του κυρίως κειμένου (π.χ. λεζάντες εικόνων, εικόνες, παρατηρήσεις), είτε έχουν προστεθεί νέα στοιχεία, όπως επιπλέον πληροφορίες
- A2) Το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο (σε σχέση με το διδακτικό υλικό), για να δώσει επιπλέον έμφαση σε κάποιες πληροφορίες και για να γίνει πιο ευανάγνωστο για το μαθητή, έχει διαιρέσει μεγαλύτερες παραγράφους σε μικρότερες, χρησιμοποιεί βέλη (➤) όμοια με αυτά που χρησιμοποιεί και το σχολικό εγχειρίδιο και χρησιμοποιεί περισσότερο την πλάγια γραφή.

B) Περιεχόμενο

- B1) Στοιχεία που έχουν προστεθεί εντός του ως άνω πλαισίου και δεν υπήρχαν καθόλου στην προηγούμενη μορφή του διδακτικού υλικού είναι τα εξής: η σχέση ισχύος μεταξύ ηλεκτρικών και βαρυτικών δυνάμεων, πώς μεταβάλλεται η βαρυτική δύναμη σε σχέση με τη μάζα και την απόσταση, ο τύπος της δύναμης Coulomb σε σχέση με τα ηλεκτρικά φορτία και την απόσταση, σχήμα που δείχνει

πως αυξάνεται η ατομική ακτίνα στον περιοδικό πίνακα (το σχήμα αυτό βρίσκεται και στο πλαίσιο του σχολικού βιβλίου), ο κανόνας των οκτώ (όπως αναφέρεται στο σχολικό βιβλίο), εικόνα που δείχνει, σε μικροσκοπικό επίπεδο, τη διάλυση του NaCl στο νερό (όπως απεικονίζεται στο σχολικό βιβλίο), πίνακες με σημεία τήξεως ιοντικών ενώσεων και σημεία βρασμού ομοιοπολικών ενώσεων.

B2) Στοιχεία που έχουν προστεθεί στο κυρίως κείμενο και δεν υπήρχαν καθόλου στην προηγούμενη μορφή του διδακτικού υλικού είναι τα εξής: άσκηση στην οποία ζητείται να επιβεβαιωθεί ότι δεν ισχύει ο κανόνας των οκτώ στο BF_3 , εικόνα που δείχνει, σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο, την τήξη του NaCl (όπως απεικονίζεται στο σχολικό βιβλίο), δυο μικρές ενότητες: «Σημεία τήξεως των ιοντικών συστατικών» και «σημεία βρασμού ομοιοπολικών ενώσεων», τρεις επιπλέον ασκήσεις στην τελευταία ενότητα: «Χημικοί δεσμοί – Όχι δυο ακραίες περιπτώσεις αλλά μια συνεχόμενη προσέγγιση» και τέλος συμπεράσματα και παραπομπή στις ασκήσεις του σχολικού βιβλίου.

B3) Τέλος, από το εμπλουτισμένο / τροποποιημένο κείμενο, σε σχέση με το διδακτικό υλικό του παραρτήματος I, **απουσιάζουν** τα σχετικά με τους θεωρητικούς (κβαντομηχανικούς) υπολογισμούς της γεωμετρίας του ατόμου H, του μορίου H_2 , του ατόμου του Li, του ιόντος του Li^+ κ.ά, και οι οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) για τα μόρια του υδρογόνου, του νερού και των υδραλογόνων που υπήρχαν στο διδακτικό υλικό.

Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι το δημοσιευμένο εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο έχει δομή ανάλογη (σε σχέση με την εμφάνιση) με αυτή του σχολικού εγχειριδίου και αντλεί περισσότερες πληροφορίες από αυτό σε σχέση με το διδακτικό υλικό του παραρτήματος I, έχει επίσης και μερικές πληροφορίες που δεν υπήρχαν στο διδακτικό υλικό (π.χ. «Σημεία τήξεως των ιοντικών συστατικών» και «σημεία βρασμού ομοιοπολικών ενώσεων»). Από την άλλη, από το δημοσιευμένο εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο απουσιάζουν οι διάφοροι θεωρητικοί (κβαντομηχανικοί) υπολογισμοί και οι οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) που υπήρχαν στο διδακτικό υλικό (ενδεχομένως, αν υπήρχαν, θα δυσκόλευαν τους μαθητές της α' λυκείου). Παρά όμως τις παραπάνω διαφορές, τα δύο υλικά μοιάζουν πολύ μεταξύ τους τόσο από άποψη περιεχομένου όσο και από τον τρόπο με τον οποίο προσπαθούν να εισαγάγουν την έννοια του χημικού δεσμού.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το διδακτικό υλικό του παραρτήματος I δεν μοιράστηκε στους μαθητές των τμημάτων μεθοδολογίας: έτσι, οι μαθητές της δικής

μας έρευνας χρησιμοποιούσαν το σχολικό εγχειρίδιο και κρατούσαν σημειώσεις από τον πίνακα (βλ. κεφάλαιο 3). Αντίθετα, κατά τη δημοσιευθείσα έρευνα με βάση το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο υλικό, το εμπλουτισμένο/τροποποιημένο κείμενο χρησιμοποιήθηκε από την ομάδα μεθοδολογίας, αντί του σχολικού εγχειριδίου – αλλά προφανώς οι μαθητές αυτοί είχαν στη διάθεσή τους και μπορούσαν να χρησιμοποιούν κατά βούληση και το σχολικό εγχειρίδιο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Physical Chemistry, A very short introduction, Oxford, UK: Oxford University Press.

Atkins P., (2014), Κεφάλαιο 1: Η ύλη εκ των ένδον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ύλη εκ των ένδον

(Μετάφραση στα Ελληνικά: Γ. Τσαπαρλής και Ε. Πύργας)

Ένας τρόπος για να καταλάβουμε πως σκέπτεται ένας φυσικοχημικός και συνεισφέρει στη χημεία είναι να ξεκινήσουμε από το εσωτερικό ενός ατόμου και κατόπιν να ταξιδεύσουμε έξω, στον κόσμο της μαζικής ύλης. Το εσωτερικό ενός ατόμου είναι εκεί όπου πολλή από την εξήγηση της ύλης θα βρεθεί και είναι εδώ όπου ένας χημικός είναι περισσότερο υπόχρεος στη φυσική. Εντός αυτής της σφαίρας επιρροής, μέσα σε ένα άτομο, κατ' ανάγκην οι εξηγήσεις στηρίζονται στην κβαντομηχανική, εκείνη την πολύπλοκη περιγραφή της συμπεριφοράς του πολύ μικρού. Ότι η κβαντομηχανική είναι κεντρική στην περιγραφή τους δεν πρέπει να εκληφθεί ως προειδοποίηση ότι το υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου θα είναι ακαταλαβίστικο! Θα αποστάξω από αυτή τη θεωρία μόνο την ποιοτική ουσία από ό,τι εμείς χρειαζόμαστε.

Άτομα

Οι αρχαίοι Έλληνες στοχάστηκαν ότι η ύλη αποτελούνταν από άτομα. Αυτό ήταν καθαρή εικασία μη υποστηριζόμενη από καμιά πειραματική μαρτυρία και έτσι δεν μπορεί να θεωρηθεί ως η αρχή της φυσικοχημείας. Πειραματική μαρτυρία για τα άτομα συγκεντρώθηκε από τον John Dalton (1776-1844) στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, όταν η χρήση του χημικού ζυγού επέτρεψε να γίνονται ποσοτικές μετρήσεις σε χημικές αντιδράσεις που υφίσταται η ύλη. Ο Dalton συμπέρανε την ύπαρξη των ατόμων από τις μετρήσεις του αλλά δεν είχε τρόπο αποτίμησης των πραγματικών τους μεγεθών.

Δεν είχε ιδέα ότι σχεδόν δύο αιώνες αργότερα, στα τέλη του 20^{ου} αιώνα οι επιστήμονες θα ήταν ικανοί επιτέλους να τα δουν.

Για έναν φυσικοχημικό, ένα άτομο αποτελείται από έναν κεντρικό, μικροσκοπικό, συμπαγή, *θετικά φορτισμένο πυρήνα* που περιβάλλεται από ένα νέφος πολύ ελαφρύτερων, *αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων*. Οι χημικοί έχουν μικρό ενδιαφέρον για τις λεπτομέρειες της δομής του πυρήνα καθ' εαυτόν και είναι ικανοποιημένοι να τον θεωρούν ως μια σφιχτά συνδεδεμένη συλλογή από δύο τύπους θεμελιωδών σωματιδίων, *θετικά φορτισμένων πρωτονίων* και *ηλεκτρικά ουδέτερων νετρονίων*. Ο αριθμός των πρωτονίων στον πυρήνα, ο «ατομικός αριθμός» του ατόμου, καθορίζει την ταυτότητα του στοιχείου (1 για το υδρογόνο, 2 για το ήλιο, και ούτω καθεξής μέχρι, προς το παρόν, 116 για το λιβερμόριο). Ο αριθμός των νετρονίων είναι κατά προσέγγιση ο ίδιος με τον αριθμό των πρωτονίων (μηδέν για το συνηθισμένο υδρογόνο, 2 για το συνηθισμένο ήλιο, και περίπου 177 για το λιβερμόριο). Αυτός ο αριθμός είναι ελαφρώς μεταβαλλόμενος και έχει ως συνέπεια τα διάφορα *ισότοπα* του στοιχείου. Σε ό,τι έχει να κάνει με ένα φυσικοχημικό, ένας πυρήνας είναι μια κατά κύριο λόγο σταθερή δομή με τρεις σημαντικές ιδιότητες: συνεισφέρει στο μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου, είναι θετικά φορτισμένος, και σε πολλές περιπτώσεις περιστρέφεται πάνω στον άξονά του με έναν σταθερό ρυθμό.

Ένας συγκεκριμένος πυρήνας θα παίζει έναν σημαντικό ρόλο καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιγραφής: ο πυρήνας του ατόμου του υδρογόνου. Ο πυρήνας της πιο συχνής μορφής του υδρογόνου είναι ένα μόνο πρωτόνιο, ένα μόνο ακατάπαυστα περιστρεφόμενο, θετικά φορτισμένο στοιχειώδες σωματίδιο. Αν και τόσο απλό, είναι μεγίστης σημασίας στη χημεία και κεντρικό για τον τρόπο που σκέπτονται οι φυσικοχημικοί γενικά σχετικά με τα άτομα και μερικές από τις αντιδράσεις στις οποίες αυτά συμμετέχουν. Υπάρχουν δύο ακόμη ισότοπα του υδρογόνου: το δευτέριο («βαρύ υδρογόνο») έχει ένα επιπλέον νετρόνιο συνδεδεμένο σφιχτά με το πρωτόνιο, και το τρίτιο με δύο νετρόνια. Αυτά θα παίξουν μόνο έναν μικρό ρόλο στο υπόλοιπο αυτής της περιγραφής, αλλά το καθένα έχει ιδιότητες τεχνικού ενδιαφέροντος για τους χημικούς.

Η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων

Οι φυσικοχημικοί δίνουν μεγάλη προσοχή στα ηλεκτρόνια που περιβάλλουν τον πυρήνα ενός ατόμου: εδώ είναι όπου γίνεται η χημική δραστηριότητα και το στοιχείο εκφράζει τη χημική του προσωπικότητα. Το βασικό σημείο να θυμηθούμε σε σχέση με αυτό είναι ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων στο άτομο είναι ο ίδιος όπως ο αριθμός των πρωτονίων στον πυρήνα. Τα ηλεκτρικά φορτία των ηλεκτρονίων και των πρωτονίων είναι ίσα αλλά αντίθετα, έτσι αυτή η ισότητα των αριθμών διασφαλίζει ότι το άτομο είναι συνολικά ηλεκτρικά ουδέτερο. Έτσι, ένα άτομο υδρογόνου έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα του, το ήλιο έχει δύο, το λιθερμόριο έχει ένα συνωστισμό 116 ηλεκτρονίων κ.ο.κ.

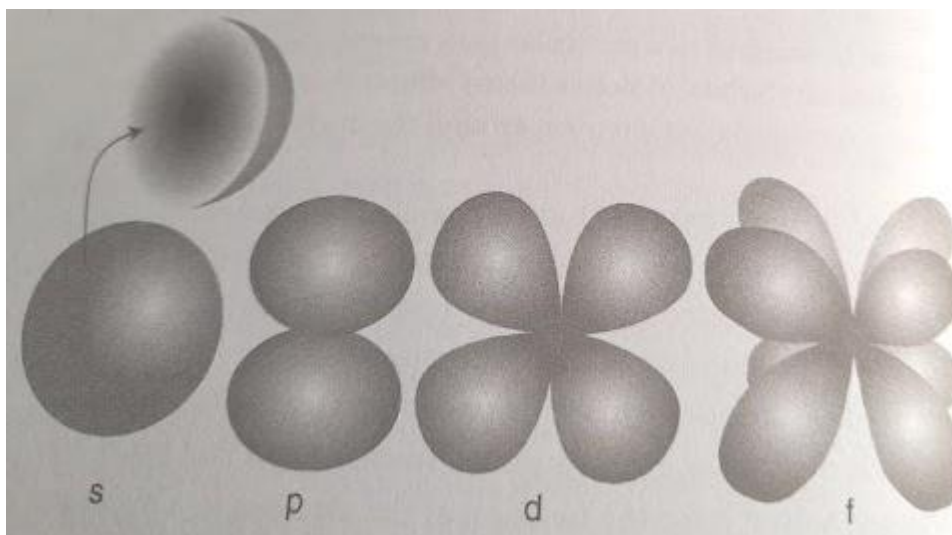
Η κβαντομηχανική παίζει κεντρικό ρόλο στο να λογαριάσουμε την τακτοποίηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα. Το πρώτο μοντέλο του Bohr για το άτομο, το οποίο προτάθηκε από τον Niels Bohr (1865–1962) το 1913, με ηλεκτρόνια σε τροχιές που περιβάλλουν τον πυρήνα όπως μια μινιατούρα των πλανητών και χρησιμοποιείται ευρέως σε κοινές απεικονίσεις των ατόμων, είναι λανθασμένο σχεδόν από κάθε άποψη – αλλά αυτό είναι δύσκολο να εκτοπιστεί από τη λαϊκή φαντασία. Η κβαντομηχανική περιγραφή των ατόμων αναγνωρίζει ότι ένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να συνδέεται με μια ιδιαίτερη τροχιά γύρω από τον πυρήνα, όπου οι πλανητικές «τροχιές» της θεωρίας του Bohr απλώς δεν υπάρχουν, και ότι μερικά ηλεκτρόνια δεν περιστρέφονται καθόλου γύρω από τον πυρήνα.

Οι φυσικοχημικοί βασίζουν την κατανόηση των ηλεκτρονιακών δομών των ατόμων στο μοντέλο του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου, το οποίο διατυπώθηκε το 1926. Ο Erwin Schrödinger ήταν ένας από τους ιδρυτές της κβαντομηχανικής, και στο ό,τι αυτός περιέγραψε ως ένα επεισόδιο ερωτικού πάθους στη διάρκεια των διακοπών του με μία από τις ερωμένες του, διατύπωσε την εξίσωση η οποία φέρει το όνομά του και την επέλυσε για τη θέση του ηλεκτρονίου σε ένα άτομο υδρογόνου. Αντί των τροχιών, βρήκε ότι το ηλεκτρόνιο θα μπορούσε να υιοθετήσει μία από μια ποικιλία κυματοειδών κατανομών γύρω από τον πυρήνα, που ονομάζονται *κυματοσυναρτήσεις*, όπου κάθε κύμα αντιστοιχεί σε μια ξεχωριστή ενέργεια.

Οι φυσικοχημικοί υιοθετούν τις λύσεις της εξίσωσης Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου και προσαρμόζουν αυτό ως το σημείο έναρξης για τις συζητήσεις τους για όλα τα άτομα. Αυτό είναι ένας λόγος γιατί το άτομο του υδρογόνου είναι τόσο

σημαντικό για την κατανόηση της χημείας. Αυτοί ονομάζουν *ατομικά τροχιακά* τις κυματοειδείς κατανομές των ηλεκτρονίων, προτείνοντας μια σύνδεση με τις τροχιές του Bohr αλλά υποδεικνύοντας κάτι λιγότερο καλώς καθορισμένο από μια πραγματική τροχιά.

Εμείς θα χρειαστούμε κάποια ονοματολογία. Το χαμηλότερο ενεργειακό ατομικό τροχιακό σε ένα άτομο υδρογόνου είναι ένα παράδειγμα ενός τροχιακού *s*. Ένα ηλεκτρόνιο σε ένα τροχιακό *s* (οι φυσικοχημικοί λένε «σε» όταν αυτοί εννοούν έχοντας μια κατανομή που περιγράφεται από ένα συγκεκριμένο τροχιακό) μπορεί να απεικονιστεί ως μια σφαιρική κυματοειδής κατανομή που είναι πυκνότερη στον πυρήνα και ελαττώνεται απότομα με την απόσταση από αυτόν (Σχήμα 1). Δηλαδή, το ηλεκτρόνιο είναι περισσότερο πιθανό να βρεθεί στον πυρήνα, και κατόπιν προοδευτικά λιγότερο πιθανό να βρεθεί σε σημεία περισσότερο απομακρυσμένα από αυτόν. Παρεμπιπτόντως, ένα ηλεκτρόνιο σε αυτό το τροχιακό δεν έχει νόημα περιστροφής γύρω από τον πυρήνα: κατ' ουσίαν, αυτό αιωρείται πάνω και περιμετρικά του πυρήνα. Συχνά λέγεται ότι ένα άτομο είναι κυρίως ένας κενός χώρος. Αυτό είναι ένα κατάλοιπο του μοντέλου του Bohr στο οποίο ένα σημειακό ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα. Στο μοντέλο του Schrödinger, δεν υπάρχει καθόλου κενός χώρος, απλώς μια κυμαινόμενη πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε μια συγκεκριμένη θέση.



Σχήμα 1: Τα τυπικά σχήματα των τροχιακών *s*, *p*, *d* και *f*. Οι οριακές επιφάνειες περικλείουν περιοχές όπου το ηλεκτρόνιο είναι περισσότερο πιθανό να βρεθεί. Το ένθετο δείχνει την εσωτερική δομή ενός τροχιακού *s*, με την πυκνότητα της σκίασης να αναπαριστά την πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου σε κάθε θέση.

Υπάρχουν διαφορετικά τροχιακά s , το κάθε ένα με διαδοχικά υψηλότερη ενέργεια, και καθένα σχηματίζει ένα σφαιρικό νεφελοειδή φλοιό σε προοδευτικά μεγαλύτερες αποστάσεις από τον πυρήνα. Αυτά δηλώνονται: $1s$ (το χαμηλότερο ενεργειακά τροχιακό s), $2s$, $3s$, κ.ο.κ.. Σε ένα άτομο υδρογόνου μόνο το τροχιακό $1s$ είναι κατειλημμένο από το μοναδικό ηλεκτρόνιο του ατόμου.

Υπάρχουν επίσης άλλες κυματοειδείς επιλύσεις της εξίσωσης Schrödinger για το άτομο υδρογόνου (όπως δείχνεται στην εικόνα). Αυτό που ονομάζεται ένα τροχιακό p είναι σαν ένα σύμπλεγμα δύο νεφών σε αντίθετες πλευρές του πυρήνα, ένα τροχιακό d αποτελείται από τέσσερις παρόμοιες νεφελοειδείς περιοχές, ένα τροχιακό f από οκτώ τέτοιες περιοχές κ.ο.κ.. Δύο παρατηρήσεις πρέπει να κάνουμε σε σχέση με αυτό: ο συμβολισμός s , p , d , f προέρχεται από πολύ πρώιμες φασματοσκοπικές παρατηρήσεις στα άτομα και η προέλευσή του δεν έχει πλέον καμία σπουδαιότητα παρά μόνο για τους ιστορικούς της επιστήμης, αλλά ο συμβολισμός συνεχίζει και είναι ένα κεντρικό τμήμα του λεξιλογίου κάθε χημικού. Δεύτερον, ο συμβολισμός συνεχίζει σε g , h , κ.τ.λ., αλλά οι χημικοί σχεδόν ποτέ δεν ασχολούνται με αυτά τα άλλα τροχιακά και δεν χρειάζεται να τα μελετήσουμε περαιτέρω.

Ο Schrödinger συνέχισε και έδειξε ότι αν και υπάρχει μόνο ένας τρόπος περιβλήματος ενός σφαιρικού φλοιού γύρω από ένα πυρήνα (έτσι υπάρχει μόνο ένα τροχιακό s ανεξάρτητα από την ηλεκτρονική στοιβάδα), υπάρχουν τρεις τρόποι περιβλήματος ενός τροχιακού p γύρω από τον πυρήνα (έτσι υπάρχουν τρία τροχιακά p ανεξάρτητα από την ηλεκτρονική στοιβάδα). Παρομοίως, υπάρχουν πέντε τρόποι περιβλήματος των ακόμη περισσότερο πολύπλοκων τροχιακών d γύρω από τον πυρήνα (έτσι υπάρχουν πέντε τροχιακά d ανεξάρτητα από την ηλεκτρονική στοιβάδα) και επτά τρόποι περιβλήματος τροχιακών f . Επιπλέον, για δεδομένη ενέργεια υπάρχουν μόνο συγκεκριμένοι τύποι τροχιακών που μπορεί να υπάρξουν.

Το μοτίβο που ακολουθείται είναι:

$1s$

$2s$ $2p$

$3s$ $3p$ $3d$

$4s$ $4p$ $4d$ $4f$

κ.ο.κ., με το $1s$ να έχει τη χαμηλότερη ενέργεια.

Στο άτομο του υδρογόνου, όλα τα τροχιακά της ίδιας στοιβάδας (η ίδια γραμμή στη λίστα) έχει την ίδια ενέργεια. Σε όλα τα άλλα άτομα, υπάρχουν περισσότερα από ένα

ηλεκτρόνια, η αμοιβαία άπωση μεταξύ των ηλεκτρονίων τροποποιεί τις ενέργειες και, γενικά μιλώντας, η λίστα αλλάζει σε:

1s

2s 2p

3s 3p

4s 3d 4p

με περισσότερο πολύπλοκες αλλαγές στα άλλα τροχιακά. Σε σχέση με αυτό, θα κάνω δύο επισημάνσεις.

Πρώτον, η φυσικοχημεία έχει έναν υποτομέα γνωστό ως *υπολογιστική χημεία*. Όπως υποδηλώνει το όνομά του, αυτός ο υποτομέας χρησιμοποιεί τους υπολογιστές για να επιλύσει τις πολύ πολύπλοκες μορφές της εξίσωσης Schrödinger που προκύπτουν στην αντιμετώπιση των ατόμων και των μορίων. Θα ασχοληθώ με τα μέρη αργότερα. Εδώ θα επικεντρωθώ στο πολύ απλούστερο πρόβλημα των μεμονωμένων ατόμων, τα οποία αντιμετωπίστηκαν πολύ νωρίς μετά τη διατύπωση της εξίσωσης Schrödinger, με το να εκτελούν τους τρομερά λεπτομερείς υπολογισμούς με το χέρι. Τώρα τα άτομα είναι ουσιαστικά ένα τετριμμένο πρόβλημα για τους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν πολύ λεπτομερείς περιγραφές της κατανομής των ηλεκτρονίων στα άτομα και οι ενέργειες των τροχιακών. Παρόλα αυτά, μολονότι οι φυσικοχημικοί μπορούν τώρα να υπολογίζουν τις ατομικές ιδιότητες με μεγάλη ακρίβεια σχεδόν με το πάτημα ενός κουμπιού, τους αρέσει να κατασκευάζουν μοντέλα των ατόμων που δίνουν βαθιά όψη της δομής τους και παρέχουν μια αίσθηση κατανόησης και όχι μόνο μια σειρά αριθμών. Αυτή η κατανόηση μεταφέρεται κατόπιν στην ανόργανη και την οργανική χημεία καθώς και σε άλλα μέρη της φυσικοχημείας. Έχουν κατασκευαστεί μοντέλα για τον τρόπο με τον οποίο οι απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων σε άτομα διαφορετικά του υδρογόνου επηρεάζουν τη σειρά των ενεργειών των τροχιακών και τον τρόπο κατά τον οποίο τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα τροχιακά.

Η φράση «ο τρόπος με τον οποίο τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα τροχιακά» εισάγει μια άλλη σημαντική αρχή από τη φυσική. Το 1925 ο Wolfgang Pauli (1900-58) αναγνώρισε μια σημαντική αρχή όταν αντιμετώπισε κάποια ασυνήθιστα χαρακτηριστικά στη φασματοσκοπία των ατόμων: παρατήρησε ότι συγκεκριμένες συχνότητες απουσίαζαν από τα φάσματα, και συμπέρανε ότι ορισμένες καταστάσεις του ατόμου ήταν απαγορευμένες. Άπαξ και εισήχθη η κβαντομηχανική, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ένας βαθύς τρόπος έκφρασης της αρχής του, τον οποίο εμείς δεν θα

χρησιμοποιήσουμε, και ένας πολύ περισσότερο άμεσος τρόπος για τους στόχους μας, ο οποίος είναι γνωστός ως η απαγορευτική αρχή του Pauli:

Δεν μπορούν περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια να καταλαμβάνουν το ίδιο τροχιακό, και αν δύο ηλεκτρόνια καταλάβουν το ίδιο τροχιακό, αυτά θα πρέπει να έχουν σπιν σε αντίθετες διευθύνσεις.

Θα χρησιμοποιήσουμε αυτή τη μορφή της αρχής που είναι επαρκής για πολλές εφαρμογές στη φυσικοχημεία.

Στην απλούστερή της μορφή, η αρχή αποκλείει την περίπτωση όλα τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου (εκτός από τα άτομα του μονοηλεκτρονικού υδρογόνου και του ηλίου με δύο ηλεκτρόνια) να έχουν όλα τα ηλεκτρόνιά τους στο τροχιακό 1s. Το λίθιο, για παράδειγμα, έχει τρία ηλεκτρόνια: τα δύο καταλαμβάνουν το τροχιακό 1s, αλλά το τρίτο δεν μπορεί να είναι μαζί με αυτά, και πρέπει να καταλάβει το επόμενο υψηλότερης ενέργειας τροχιακό, το τροχιακό 2s. Έχοντας αυτό υπόψη, κάτι σχετικά θαυμάσιο γίνεται προφανές: ξεδιπλώνεται η δομή του Περιοδικού Πίνακα (των ατόμων) των στοιχείων, η κύρια εικόνα της χημείας.

Για να δούμε πώς αυτό δουλεύει, σκεπτόμαστε τα πρώτα 11 στοιχεία, που έχουν από 1 μέχρι 11 ηλεκτρόνια (οι αριθμοί εντός παρενθέσεων στην παρακάτω λίστα):

H[1], He[2], Li[3], Be[4], B[5], C[6], N[7], O[8], F[9], Ne[10], Na[11]

Το πρώτο ηλεκτρόνιο μπορεί να τοποθετηθεί στο τροχιακό 1s και το δεύτερο ηλεκτρόνιο του He μπορεί να τοποθετηθεί επίσης εκεί. Σε αυτό το σημείο, το τροχιακό είναι γεμάτο, και το τρίτο ηλεκτρόνιο του Li πρέπει να τοποθετηθεί στο επόμενο υψηλότερο τροχιακό, το τροχιακό 2s. Το επόμενο ηλεκτρόνιο, για το βηρύλλιο (Be), μπορεί να συνδεθεί με αυτό, αλλά μετά αυτό επίσης είναι πλήρως συμπληρωμένο. Από αυτό το σημείο, τα επόμενα έξι ηλεκτρόνια μπορεί να εισέλθουν σε σειρά στα τρία τροχιακά 2p. Άπαξ και είναι παρόντα αυτά τα έξι ηλεκτρόνια (στο νέον, Ne), όλα τα τροχιακά 2p είναι γεμάτα και το ενδέκατο ηλεκτρόνιο, για το νάτριο (Na), πρέπει να τοποθετηθεί στο τροχιακό 3s. Ταυτόχρονα, αρχίζει μια καινούρια σειρά του Περιοδικού Πίνακα. Άμεσα, μπορείς τώρα να δεις γιατί το λίθιο και το νάτριο είναι συγγενικά και βρίσκονται στην ίδια στήλη («ομάδα») του περιοδικού πίνακα: το καθένα έχει ένα μοναχικό ηλεκτρόνιο σε ένα τροχιακό s. Με παρόμοια συλλογιστική εξηγείται το σύνολο της δομής του Πίνακα, με τα στοιχεία στην ίδια ομάδα όλα να έχουν ανάλογες ηλεκτρονιακές διευθετήσεις και κάθε διαδοχική σειρά («περίοδος») να αντιστοιχεί στην επόμενη εξωτερική στοιβάδα τροχιακών.

Αυτό είναι το σημείο όπου από τη φυσικοχημεία μεταβαίνουμε στην *ανόργανη χημεία*, η οποία εξειδικεύεται στη χημεία όλων των στοιχείων. Η φυσικοχημεία έχει εξηγήσει τη γενική δομή του Περιοδικού Πίνακα, και η ανόργανη χημεία εξερευνά τις συνέπειες. Είναι αξιοσημείωτο, πιστεύω, ότι πολύ απλές ιδέες σχετικά με την ύπαρξη και τις ενέργειες των τροχιακών, σε συνέργεια με μία αρχή που διέπει τον τρόπο πλήρωσής τους, εξηγεί τη συγγενική σχέση των στοιχείων, όπως αυτή αντιπροσωπεύεται στον Περιοδικό Πίνακα.

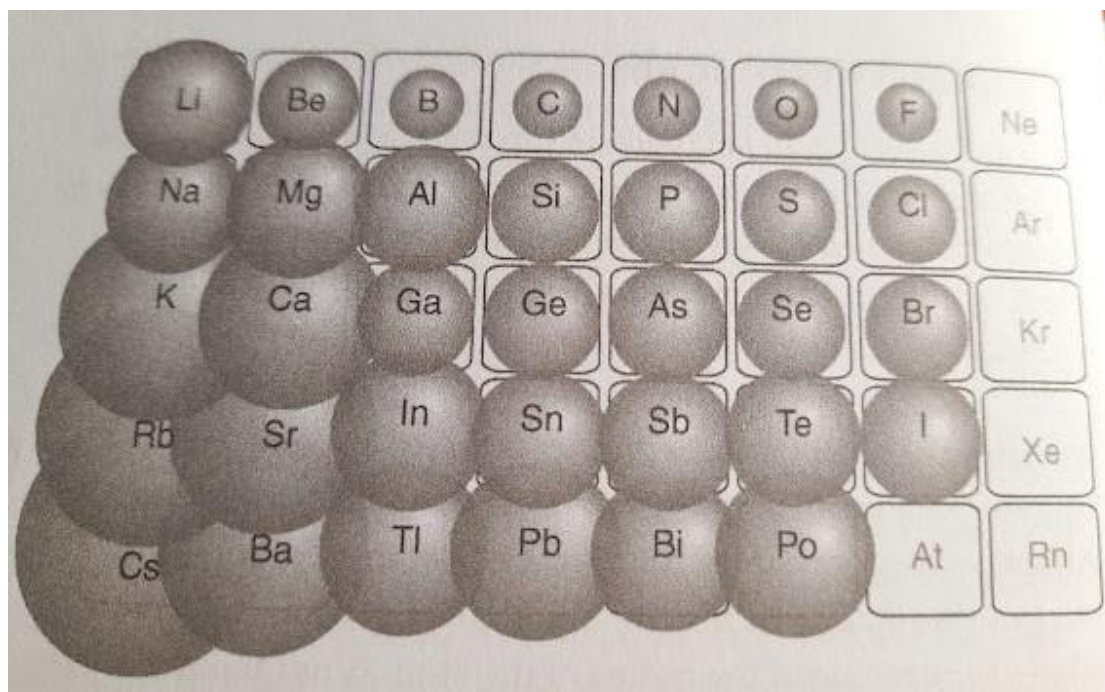
Οι ιδιότητες των ατόμων

Σε αυτό το σημείο, οι φυσικοχημικοί δεν αφήνουν εντελώς να τους ξεφύγει ο έλεγχός τους επί των ατόμων και να τα παραδώσουν στους ανόργανους χημικούς. Συνεχίζουν να ενδιαφέρονται για μια ποικιλία ιδιοτήτων των ατόμων που πηγάζει από την ηλεκτρονιακή τους δομή και η οποία παίζει ρόλο στον έλεγχο των χημικών προσωπικοτήτων των στοιχείων.

Πιθανώς η περισσότερο σημαντική ιδιότητα ενός ατόμου για τις ενώσεις που αυτό μπορεί να σχηματίζει είναι το μέγεθός του, συγκεκριμένα η *ακτίνα* του. Μολονότι ένα άτομο έχει ένα θολό νέφος ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα του, η πυκνότητα του νέφους ελαττώνεται πολύ γρήγορα στο εξωτερικό μέρος του – έτσι μιλώντας για την ακτίνα του ατόμου δεν είναι πολύ παραπλανητικό. Στην πράξη, οι ατομικές ακτίνες προσδιορίζονται πειραματικά μετρώντας την απόσταση μεταξύ δύο συνδεδεμένων ατόμων σε ένα μόριο ή στερεό και μοιράζοντας την απόσταση σε κάθε άτομο με έναν προβλεπόμενο τρόπο. Οι τάσεις ως προς την ατομική ακτίνα βρέθηκαν να συσχετίζονται με τη θέση του στοιχείου στον Περιοδικό Πίνακα. Έτσι, μεταβαίνοντας από αριστερά προς τα δεξιά στον Πίνακα, τα άτομα γίνονται μικρότερα: παρόλο ότι αυτά έχουν προοδευτικά περισσότερα ηλεκτρόνια, το πυρηνικό φορτίο επίσης αυξάνεται και έλκει τα νέφη ηλεκτρονίων προς τον πυρήνα. Σε μια ομάδα, από πάνω προς τα κάτω, τα άτομα γίνονται μεγαλύτερα εξαιτίας των διαδοχικών περιόδων, νέες εξωτερικές στοιβάδες ξεκινούν (καθώς πηγαίνουμε από το λίθιο προς το νάτριο) και η κάθε νέα προσθήκη νέφους κάνει το άτομο μεγαλύτερο (Σχήμα 2).

Δεύτερη σε σπουδαιότητα είναι η *ενέργεια ιοντισμού*, η ενέργεια που απαιτείται για να αφαιρεθούν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια από το άτομο. Όπως θα δούμε, η

ικανότητα των ηλεκτρονίων να αφαιρούνται μερικώς ή πλήρως από ένα άτομο καθορίζει τον τύπο των χημικών δεσμών που το άτομο μπορεί να σχηματίσει και επομένως παίζει έναν κύριο ρόλο στον καθορισμό των ιδιοτήτων του. Η ενέργεια ιοντισμού περισσότερο ή λιγότερο ακολουθεί την τάση των ατομικών ακτίνων, αλλά σε μια αντίθετη λογική, διότι όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο στον αντίθετα φορτισμένο πυρήνα, τόσο δυσκολότερο είναι για αυτό να αποσπαστεί. Έτσι, η ενέργεια ιοντισμού αυξάνει από αριστερά προς τα δεξιά κατά μήκος του Περιοδικού Πίνακα, καθώς τα άτομα γίνονται μικρότερα. Μειώνεται προς τα κάτω σε μια ομάδα επειδή το πιο εξωτερικό ηλεκτρόνιο (αυτό που αποσπάται ευκολότερα) είναι προοδευτικά μακρύτερα από τον πυρήνα. Τα στοιχεία στα αριστερά του Περιοδικού Πίνακα μπορούν να χάσουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια αρκετά εύκολα: όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 4, μια συνέπεια είναι ότι αυτά τα στοιχεία είναι μέταλλα. Εκείνα τα στοιχεία που είναι στο δεξιό μέρος του πίνακα είναι πολύ απρόθυμα να χάσουν ηλεκτρόνια και δεν είναι μέταλλα (είναι «αμέταλλα»).



Σχήμα 2: Η μεταβολή στην ατομική ακτίνα κατά μήκος του Περιοδικού Πίνακα. Οι ακτίνες τυπικά μειώνονται από τα αριστερά προς τα δεξιά κατά μήκος μιας περιόδου και αυξάνονται από πάνω προς τα κάτω σε μια ομάδα. Μόνο τα στοιχεία των «κυρίων ομάδων» δείχνονται εδώ (όχι τα στοιχεία μετάπτωσης).

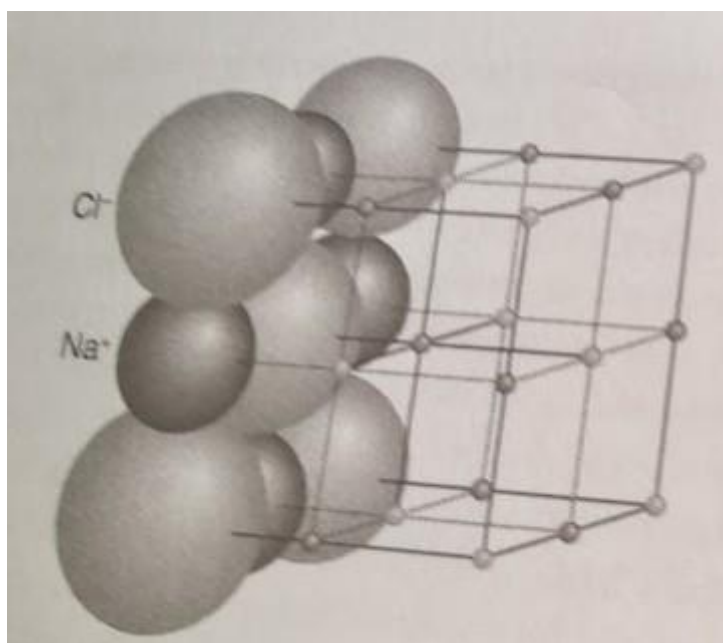
Τρίτη σε σπουδαιότητα είναι η ηλεκτρονιοσυγγένεια, η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν ένα ηλεκτρόνιο συνδέεται σε ένα άτομο. Οι ηλεκτρονιοσυγγένειες είναι υψηλότερες στα δεξιά του Περιοδικού Πίνακα (κοντά στο φθόριο – αγνοώντας την ειδική περίπτωση των ευγενών αερίων). Αυτά τα σχετικά μικρά άτομα μπορούν να φιλοξενήσουν ένα ηλεκτρόνιο στο ημιτελώς συμπληρωμένο εξωτερικό στρώμα νέφους και, άπαξ το ηλεκτρόνιο βρεθεί εκεί, μπορεί να αλληλοεπιδράσει ισχυρά και ευνοϊκά με τον κοντινό πυρήνα.

Η σπουδαιότητα των ενεργειών ιοντισμού και των ηλεκτρονιοσυγγενειών γίνεται προφανής όταν αναλογιστούμε τα «ιόντα» που τα άτομα είναι πιθανό να σχηματίσουν. Ένα *ιόν* είναι ένα ηλεκτρικά φορτισμένο άτομο. Αυτό το φορτίο προκύπτει είτε επειδή το ουδέτερο άτομο έχει χάσει ένα ή περισσότερα από τα ηλεκτρόνια του, και σε αυτή την περίπτωση προκύπτει ένα θετικά φορτισμένο ιόν (το «κατιόν»), είτε επειδή έχει προσλάβει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια και έχει γίνει ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν («ανιόν»). Οι ονομασίες «κατιόν» και «ανιόν» δόθηκαν σε αυτά τα ιόντα από τους φυσικοχημικούς που μελέτησαν την ηλεκτρική αγωγιμότητα των ιόντων στα διαλύματα, όπως αλάτι διαλυμένο στο νερό, οι οποίοι παρατήρησαν ότι μια κατηγορία ιόντων μετακινήθηκε «πάνω» σε μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού και άλλα μετακινήθηκαν «κάτω» σε αυτήν (το «ιόν» προέρχεται από την Ελληνική λέξη για τον ταξιδιώτη, και το «αν(ά)» και «κατ(ά)» είναι προθέματα που σημαίνουν «πάνω» και «κάτω», αντιστοίχως). Τα στοιχεία στα αριστερά του Περιοδικού Πίνακα, με τις χαμηλές ενέργειες ιοντισμού τους, είναι πιθανό να χάσουν ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν κατιόντα. Εκείνα στα δεξιά, με τις υψηλές ηλεκτρονιοσυγγενειές τους, είναι πιθανό να προσλάβουν ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν ανιόντα. Αυτή η διαφορά μάς φέρνει στην «καρδιά» ενός θέματος που εξερευνήθηκε και αποσαφηνίστηκε από τους φυσικοχημικούς: τη φύση του χημικού δεσμού.

Ο ιοντικός δεσμός

Ένας «χημικός δεσμός» είναι ό,τι συγκρατεί τα γειτονικά άτομα μαζί για να σχηματίσει τις πολύπλοκες δομές του κόσμου. Όλοι οι χημικοί δεσμοί προέρχονται από αλλαγές στην κατανομή των ηλεκτρονίων στα συνδεδεμένα άτομα, και έτσι ο σχηματισμός τους εμπίπτει πάρα πολύ στην περιοχή της φυσικοχημείας.

Οι χημικοί αναγνωρίζουν τρεις τύπους δεσμού: ιοντικό, ομοιοπολικό και μεταλλικό. Θα αφήσω για αργότερα τη συζήτηση του μεταλλικού δεσμού μέχρι το κεφάλαιο 4 και τη συζήτηση των μετάλλων. Μια ιοντικώς συνδεδεμένη ουσία αποτελείται από κατιόντα και ανιόντα συγκεντρωμένα μαζί ως αποτέλεσμα της έλξης μεταξύ των αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων τους. Το περισσότερο σημαντικό υπόδειγμα αυτού του τύπου δεσμού είναι το χλωριούχο νάτριο, το κοινό αλάτι, κάθε κόκκος του οποίου αποτελείται από εκατομμύρια κατιόντα νατρίου (Na^+) συγκεντρωμένα μαζί με έναν ισοδύναμο αριθμό ιόντων χλωρίου (Cl^-). Το «συγκεντρωμένα» είναι ίσως ένας παραπλανητικός όρος, διότι η χημική ένωση δεν είναι απλώς ένα τυχαίο συνονθύλευμα ιόντων, αλλά οργανωμένες σειρές από αυτά, όπου κάθε ιόν Na^+ περιβάλλεται από έξι ιόντα Cl^- και κάθε ιόν Cl^- από έξι ιόντα Na^+ σε μια εξαιρετικά τακτοποιημένη διάταξη που επεκτείνεται σε ολόκληρο τον μικρό κρύσταλλο (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Η δομή του χλωριούχου νατρίου (NaCl). Κάθε ιόν νατρίου (Na^+) περιβάλλεται από έξι ιόντα χλωρίου (Cl^-) και κάθε ιόν Cl^- περιβάλλεται από έξι ιόντα Na^+ . Αυτό το μοτίβο επαναλαμβάνεται σε ολόκληρο τον κρύσταλλο.

Οι φυσικοχημικοί αναγνωρίζουν αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά του ιοντικού δεσμού. Ένα είναι ότι δεν υπάρχει διακριτός δεσμός ιόντος-ιόντος. Ό,τι εγώ έχω ονομάσει «συγκεντρωμένα μαζί» είναι αποτέλεσμα όλων των ιόντων στον κρύσταλλο που αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο: ένα ιόν Na^+ αλληλεπιδρά ευνοϊκά με τα ιόντα Cl^- που το περιβάλλουν, αλλά απωθείται από τα ιόντα Na^+ που περιβάλλουν καθένα

από εκείνα τα ιόντα Cl^- . Με τη σειρά του αυτό αλληλεπιδρά ευνοϊκά με την επόμενη σειρά ιόντων Cl^- , μη ευνοϊκά με την επόμενη σειρά ιόντων Na^+ , κ.ο.κ.. Οι έλξεις και οι απώσεις ελαττώνονται με την απόσταση, αλλά παρόλα αυτά ο ιοντικός δεσμός θα θεωρείται μια καθολική, όχι τοπική, άποψη του κρυστάλλου.

Η ισχύς ενός ιοντικού δεσμού, και ο λόγος της ύπαρξής του, είναι ότι τα ιόντα στον κρύσταλλο έχουν μια χαμηλότερη ενέργεια από τον ίδιο αριθμό ευρέως διαχωρισμένων ατόμων νατρίου και χλωρίου. Στο σημείο αυτό οι ενέργειες ιοντισμού και οι ηλεκτρονιοσυγγένειες μπαίνουν στο παιχνίδι για να καθορίσουν εάν ο σχηματισμός του δεσμού είναι ευνοϊκός. Εδώ, οι φυσικοχημικοί εξελίσσονται σε λογιστές κέρδους και ζημιάς. Η ενέργεια ιοντισμού του νατρίου είναι χαμηλή, αλλά το εξωτερικό μονήρες ηλεκτρόνιό του δεν θα διαφύγει εύκολα: απαιτείται μια σημαντική ενεργειακή επένδυση που χρειάστηκε για να απομακρυνθεί αυτό. Αυτή η επένδυση ανακτάται μερικώς από την ηλεκτρονιοσυγγένεια του χλωρίου, με την ενέργεια που απελευθερώνεται όταν το ηλεκτρόνιο προσαρτάται σε ένα άτομο χλωρίου για να σχηματίσει Cl^- . Ωστόσο, η συνολική διαδικασία απαιτεί ακόμη ενέργεια επειδή η μείωση της ενέργειας που συμβαίνει στο δεύτερο βήμα είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια που απαιτήθηκε στον ιοντισμό του πρώτου βήματος. Η επιπλέον απελευθέρωση ενέργειας που μετατρέπει το έλλειμμα σε κέρδος είναι η πολύ ισχυρή καθαρά ευνοϊκή αλληλεπίδραση μεταξύ των ιόντων που σχηματίζονται, και η οποία απελευθερώθηκε καθώς αυτά συνδέονται μαζί. Κατούσιαν, αυτή η τεράστια μείωση ενέργειας επιτρέπει την ύπαρξη των ιόντων και καταλήγει σε έναν σταθερό κρύσταλλο χλωριούχου νατρίου.

Μπορείς τώρα να δεις ένα τρίτο χαρακτηριστικό των ιοντικών δεσμών: ότι αυτοί σχηματίζονται κυρίως μεταξύ ατόμων στα αριστερά και στα δεξιά του Περιοδικού Πίνακα. Τα άτομα στα αριστερά έχουν χαμηλές ενέργειες ιοντισμού και έτσι η απαιτούμενη ενέργεια για τον σχηματισμό κατιόντων είναι αρκετά χαμηλή. Τα άτομα στα δεξιά έχουν αρκετά υψηλές ηλεκτρονιοσυγγένειες, έτσι υπάρχει μια σημαντική μείωση της ενέργειας όταν αυτά σχηματίζουν ανιόντα. Αυτή η καθαρή απώλεια (είναι πάντα μια απώλεια διότι οι ενέργειες ιοντισμού είναι υψηλές και οι ηλεκτρονιοσυγγένειες δεν βοηθούν πολύ) μετατρέπεται σε κέρδος από την αποτελεσματική συνολική καθαρή έλξη μεταξύ των ιόντων.

Ο ομοιοπολικός δεσμός

Στοιχεία στα δεξιά του Περιοδικού Πίνακα έχουν τέτοιες υψηλές ενέργειες ιοντισμού, ώστε αν μόνα τους εμπλέκονται στον σχηματισμό δεσμού, τότε η απώλεια ποτέ δεν μετατρέπεται σε κέρδος. Οι φυσικοχημικοί έχουν αναγνωρίσει έναν άλλο τρόπο με τον οποίο τα άτομα μπορούν να σχηματίζουν συνδέσεις μεταξύ τους, ιδιαίτερα αν παρόμοια στοιχεία προς τα δεξιά του πίνακα είναι απρόθυμα να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν κατιόντα. Αυτά τα άτομα συμβιβάζονται: *διαμοιράζονται* τα ηλεκτρόνιά τους και σχηματίζουν αυτό που είναι γνωστό ως ένας *ομοιοπολικός δεσμός*.

Θα χρειαστώ να κάνω λίγα βήματα προς τα πίσω πριν να εξηγήσω την έννοια και τις συνέπειες του ομοιοπολικού δεσμού και να κάνω δύο επισημάνσεις. Πρώτον, ο όρος «ομοιοπολικός» στα αγγλικά είναι “*covalent*”. Το τμήμα *valent* προέρχεται από τη λατινική λέξη για την «ισχύ» («*Valete!*», «να είσαι δυνατός!», ήταν ο Ρωμαϊκός αποχαιρετισμός). Η λέξη *valence* (σθένος) είναι τώρα ένας κοινός χημικός όρος στη χημεία που αναφέρεται στη θεωρία του σχηματισμού δεσμού. Το τμήμα «συν» (*co*) είναι μια ένδειξη της συνεργασίας (*cooperation*) μεταξύ των ατόμων για την επίτευξη της ισχύος του δεσμού.

Δεύτερον, είναι δύσκολο να εντοπίσουμε τη στιγμή στην ιστορία όταν η φυσικοχημεία έγινε ένας αναγνωρίσιμος κλάδος μέσα στη χημεία. Υπήρχαν βεβαίως φυσικοχημικοί τον 19^ο αιώνα: μεταξύ αυτών ο Michael Faraday και ο Robert Boyle (Κεφάλαιο 4) ακόμη νωρίτερα τον 17^ο αιώνα, παρόλο που αυτοί δεν χρησιμοποίησαν τον όρο. Ωστόσο, ένας κλάδος της φυσικοχημείας εμφανίστηκε ακριβώς στην αρχή του 20^{ου} αιώνα όταν το ηλεκτρόνιο (που ανακαλύφθηκε το 1897) έγινε κεντρικό στη χημική εξήγηση, και ίσως μια καλή αφετηρία για αυτόν τον κλάδο του γνωστικού αντικειμένου είναι η ταυτοποίηση του ομοιοπολικού δεσμού. Η ταυτοποίηση αυτή οφείλεται στον Αμερικανό χημικό Gilbert Lewis (1875-1946), ο οποίος πρότεινε το 1916 ότι ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων. Είναι ένα από τα σκάνδαλα της ιστορίας του πνεύματος ότι ο Lewis ποτέ δεν πήρε το βραβείο Νομπέλ, παρά τις πολλές εξαιρετικές συνεισφορές του στη χημεία και στη φυσικοχημεία ιδιαίτερα.

Όπως έχω επισημάνει, ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων. Αν ένα άτομο έχει πολύ μεγάλη ενέργεια ιοντισμού για να είναι ο σχηματισμός κατιόντος ενεργειακά εφικτός, μπορεί να είναι ικανοποιημένο να παραδώσει τον

μερικό έλεγχο ενός ηλεκτρονίου. Επιπλέον, θα μπορούσε να ανακτήσει κάποια από αυτή τη μικρή ενεργειακή επένδυση με το να δεχθεί να διαμοιραστεί ένα ηλεκτρόνιο που θα προσφέρει ένα άτομο με την ίδια νοοτροπία, υπό την προϋπόθεση να συμβεί συνολικά μείωση της ενέργειας. Έχω σκόπιμα χρησιμοποιήσει ανθρωπομορφικούς όρους, «ικανοποιημένο να» και «με την ίδια νοοτροπία», διότι η ορολογία αυτή υπεισέρχεται συνήθως στις συζητήσεις των χημικών σαν μια συντομογραφία για ό,τι αυτοί πραγματικά εννοούν, το οποίο είναι μια αναφορά στις αλλαγές στην ενέργεια που συνοδεύουν την ανακατανομή των ηλεκτρονίων. Θα αποφύγω στο εξής αυτούς τους όρους, διότι αυτοί είναι πρόχειροι και ακατάλληλοι (αλλά συχνά είναι ευφάνταστα προκλητικοί, και όπως πολλή άτυπη συζήτηση, βοηθούν να αποφύγουμε σχολαστικές περιφράσεις).

Το βασικό χαρακτηριστικό του ομοιοπολικού δεσμού είναι ότι, αντίθετα με τον ιοντικό δεσμό, είναι ένα *τοπικό* φαινόμενο. Με άλλα λόγια, επειδή τα ηλεκτρόνια διαμοιράζονται μεταξύ γειτονικών ατόμων, ένας αναγνωρίσιμος δεσμός υπάρχει μεταξύ εκείνων των δύο γειτονικών ατόμων και δεν κατανέμεται σε πάνω από εκατομμύρια ιόντα. Μια συνέπεια αυτού του τοπικού χαρακτήρα είναι ότι τα ομοιοπολικά συνδεδεμένα είδη είναι διακριτά μόρια, όπως το υδρογόνο, H_2 ($H-H$), το νερό H_2O ($H-\ddot{O}-H$) και το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 ($O=C=O$). Χρησιμοποίησα αυτά τα τρία μόρια ως παραδείγματα για ένα ιδιαίτερο λόγο.

Πρώτον, το H_2 , φανερώνει ότι άτομα του ίδιου στοιχείου θα μπορούσαν να συνδεθούν μαζί ομοιοπολικά. Τέτοιες μορφές των στοιχείων είναι κοινοί μεταξύ των αμετάλλων (σκεφθείτε το οξυγόνο, O_2 , και το χλώριο, Cl_2). Ο τύπος $H-H$ δείχνει επίσης πώς οι χημικοί συμβολίζουν τους ομοιοπολικούς δεσμούς: με μια παύλα μεταξύ των συνδεδεμένων ατόμων. Κάθε τέτοια παύλα συμβολίζει ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων. Το μόριο του νερού είναι H_2O . Το έχω συμπεριλάβει για να δείξω ότι δεν είναι απαραίτητο όλα τα ηλεκτρόνια που ανήκουν σε ένα άτομο να συμπεριληφθούν στον σχηματισμό ομοιοπολικού δεσμού και ότι σχηματίζοντας δύο δεσμούς το άτομο του οξυγόνου περιβάλλεται από οκτώ ηλεκτρόνια (4 ζεύγη). Τα αχρησιμοποιήτα ζεύγη ονομάζονται *μονήρη ζεύγη*. Το γεγονός ότι είναι παρόντα οκτώ ηλεκτρόνια υποδεικνύει ότι το άτομο του οξυγόνου έχει συνεχίσει να σχηματίζει όσους πιο πολλούς δεσμούς αυτό μπορεί, μέχρι να έχει συμπληρωθεί με ό,τι εμείς έχουμε κιόλας δείξει ως χωρητικότητα του εξωτερικού νέφους ηλεκτρονίων. Αυτός ο ονομαζόμενος «σχηματισμός οκτάδας» είναι μια από τις καθοδηγούσες αλλά όχι πάντοτε αξιόπιστες αρχές του σχηματισμού του δεσμού. Τέλος, έχω συμπεριλάβει και το διοξείδιο του

άνθρακα επειδή αυτό δείχνει ότι περισσότερα από ένα ζεύγη ηλεκτρονίων μπορεί να διαμοιράζονται μεταξύ δύο ατόμων: το σύμβολο = υποδεικνύει ένα «διπλό δεσμό», που αποτελείται από δύο κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων. Υπάρχουν επίσης μόρια με τριπλούς δεσμούς (με τρία κοινά ζεύγη), και πολύ περιστασιακά τετραπλοί δεσμοί.

Όλα τα ομοιοπολικώς συνδεδεμένα είδη δεν είναι διακριτά μόρια. Είναι δυνατό σε κάποιες περιπτώσεις να σχηματίζονται ομοιοπολικοί δεσμοί που να οδηγούν σε εκτεταμένα δίκτυα δεσμών. Το πιο διάσημο παράδειγμα είναι το διαμάντι, όπου κάθε άτομο άνθρακα είναι συνδεδεμένο με απλούς δεσμούς προς τέσσερα γειτονικά του άτομα, και το καθένα από εκείνα τα γειτονικά συνδέονται με τα γειτονικά τους, και ούτω καθεξής σε ολόκληρο τον κρύσταλλο. Θα επιστρέψω στη συζήτηση αυτών των δομών στο Κεφάλαιο 4.

Η κβαντομηχανική των χημικών δεσμών

Μολονότι ο Lewis ανέπτυξε αρκετές υποθετικές φαντασιώσεις, δεν είχε ιδέα του πραγματικού λόγου γιατί ένα ηλεκτρονιακό ζεύγος είναι τόσο σημαντικό για τον σχηματισμό του ομοιοπολικού δεσμού. Αυτή η κατανόηση έπρεπε να περιμένει την ανάπτυξη της κβαντομηχανικής και τη σχεδόν άμεση εφαρμογή της στη θεωρία σθένους. Αυτός ο βλαστός μιας εφαρμογής είχε εξελιχθεί από τότε σε έναν κύριο κλάδο της φυσικοχημείας και συγκεκριμένα της *θεωρητικής χημείας* ή, πιο συγκεκριμένα για όσους ασχολούνται με αριθμητικούς υπολογισμούς, την *υπολογιστική χημεία*.

Οι φυσικοχημικοί, αρχικά σε συνεργασία με φυσικούς, έχουν αναπτύξει δύο κβαντομηχανικές θεωρίες σχηματισμού του δεσμού, τη *θεωρία δεσμού σθένους* (valence-bond theory / VB theory) και τη *θεωρία μοριακών τροχιακών* (molecular orbital theory / MO theory). Η πρώτη θεωρία έχει μάλλον ξεπέσει (έχει απωλέσει την εύνοια) αλλά η γλώσσα της έχει αφήσει ένα ανεξίτηλο σημάδι στη χημεία και οι χημικοί χρησιμοποιούν ακόμη πολλούς από τους όρους της. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών έχει σαρώσει το πεδίο, καθώς έχει αποδειχτεί να είναι πολύ περισσότερο εύκολα υλοποιήσιμη στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Επειδή η γλώσσα της θεωρίας δεσμού σθένους χρησιμοποιείται ακόμη σε ολόκληρη τη χημεία αλλά οι υπολογισμοί διεξάγονται με τη χρήση της θεωρίας των μοριακών τροχιακών, όλοι οι χημικοί, υπό

την καθοδήγηση των φυσικοχημικών, χρειάζεται να είναι εξοικειωμένοι και με τις δύο θεωρίες.

Η θεωρία του δεσμού σθένους διατυπώθηκε από τους φυσικούς Walter Heitler (1904-81), Fritz London (1900-54), και John Slater (1900-76) και τελειοποιήθηκε από τον χημικό Linus Pauling (1901-93) σχεδόν αμέσως με τη γέννηση της κβαντομηχανικής, το 1927. Αυτή η συνεργασία φυσικών και χημικών είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα της θεμελίωσης αυτού που αποτελεί τη βάση της φυσικοχημείας: αυτό επίσης απεικονίζει την πνευματική γονιμότητα της νιότης, καθώς όλοι οι δημιουργοί του ήταν στην τρίτη δεκαετία της ζωής τους ηλικία (20-29). Η βασική ιδέα της θεωρίας του δεσμού σθένους είναι ότι μια κυματοσυνάρτηση μπορεί να γραφτεί για το ζεύγος των ηλεκτρονίων που σχηματίζουν έναν δεσμό. Ο λόγος της σπουδαιότητας του ζεύγους ηλεκτρονίων έγκειται στο ότι κάθε ηλεκτρόνιο έχει ένα σπιν (spin) (όπως ανέφερα όταν συζητούσα για τα άτομα) και για να υπάρχει αυτή η κυματοσυνάρτηση δεσμού, πρέπει τα δύο ηλεκτρόνια να περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Σημειώστε ότι αυτή η περιγραφή επικεντρώνεται σε γειτονικά ζεύγη ατόμων: το ένα άτομο παρέχει ένα ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται δεξιόστροφα, το άλλο άτομο παρέχει ένα ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται αριστερόστροφα, και τα δύο ηλεκτρόνια δημιουργούν το ζεύγος. Λεπτομερής ανάλυση των επακόλουθων κυματοσυναρτήσεων δείχνει ότι αυτό το ζευγάρωμα επιτρέπει στα δύο ηλεκτρόνια να συγκεντρώνονται μεταξύ των δύο πυρήνων και διαμέσου της ηλεκτροστατικής τους έλξης προς τους πυρήνες, ουσιαστικά κολλούν τα δύο άτομα μαζί.

Η θεωρία ήρθε γρήγορα αντιμέτωπη με αρχικές δυσκολίες με τον άνθρακα και την θεμελιώδη ουσία του, το μεθάνιο, CH_4 . Αυτό είναι ένα σημείο όπου ο Pauling έκανε την κύρια συμβολή του και όπου η γλώσσα που αυτός εισήγαγε επιβιώνει και έχει διαδοθεί στη σύγχρονη χημεία. Η χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση ενός ατόμου άνθρακα έχει τέσσερα ηλεκτρόνια στο εξωτερικό του νέφος (τη «στοιβάδα σθένους» του), δύο από τα οποία έχουν ήδη σχηματίσει ζεύγη. Τα εναπομείναντα δύο μπορούν να σχηματίσουν ζεύγη με τα ηλεκτρόνια που παρέχονται από δύο άτομα υδρογόνου, αλλά αυτό καταλήγει σε CH_2 , όχι CH_4 . Ο Pauling πρότεινε την ιδέα της *προώθησης/διέγερσης*, στην οποία προέβλεψε ότι υπάρχει μια υποθετική ενεργειακή επένδυση κατά τη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από το ζεύγος ηλεκτρονίων του τροχιακού $2s$ σε ένα κενό τροχιακό $2p$. Τώρα και τα τέσσερα ηλεκτρόνια μπορεί να είναι διαθέσιμα για να σχηματίσουν ζεύγη με τα ηλεκτρόνια που παρέχονται από τα άτομα υδρογόνου, επιτρέποντας έτσι τον σχηματισμό του CH_4 .

Η προώθηση, ωστόσο, προκαλεί ένα άλλο πρόβλημα, διότι ένας από τους δεσμούς (αυτός που σχετίζεται με το αρχικό τροχιακό 2s) είναι διαφορετικός από τους άλλους τρεις (που σχηματίστηκαν με δημιουργία ζευγών με ηλεκτρόνια στα τρία τροχιακά 2p), αλλά στο CH_4 είναι γνωστό ότι και οι τέσσερις δεσμοί ότι είναι ισοδύναμοι. Ο Pauling υπενέκρινε αυτό το πρόβλημα προτείνοντας την έννοια του *υβριδισμού*. Κάθε τροχιακό 2s και 2p είναι σαν ένα κύμα επικεντρωμένο στον πυρήνα: όπως συμβαίνει με όλα τα κύματα, αυτά μπορεί να θεωρηθούν ότι συμβάλλουν (συμβαίνει δηλαδή το φαινόμενο της συμβολής κυμάτων) αν καταλαμβάνουν την ίδια περιοχή του χώρου, και αυτό συμβαίνει σε αυτό το άτομο. Ανάλυση της συμβολής μεταξύ των τεσσάρων κυμάτων δείχνει ότι αυτή καταλήγει σε τέσσερα μοτίβα συμβολής που αντιστοιχούν σε τροχιακά που είναι ταυτόσημα, με τη διαφορά ότι κατευθύνονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις (προς τις γωνίες ενός τετραέδρου σε αυτή την περίπτωση). Αυτά τα «υβριδικά τροχιακά», που πρότεινε ο Pauling, πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν τους ομοιοπολικούς δεσμούς του μορίου του CH_4 . Το αποτέλεσμα είναι τέσσερις ταυτόσημοι δεσμοί και ένα μόριο που μοιάζει σαν μινιατούρα τετραέδρου, ακριβώς όπως παρατηρείται.

Ένα άλλο απλό μόριο, το υδροχλώριο (HCl), παρουσίασε ένα άλλο πρόβλημα, διότι η ανάλυση της κυματοσυνάρτησης δεσμού σθένους έδειξε ότι ήταν μια φτωχή περιγραφή της κατανομής των ηλεκτρονίων σε ένα σημαντικό σημείο: δεν επέτρεπε ποτέ και στα δύο ηλεκτρόνια να είναι στο άτομο του χλωρίου την ίδια χρονική στιγμή. Έχουμε δει ότι το χλώριο, που είναι στα δεξιά του περιοδικού πίνακα, έχει μια υψηλή ηλεκτρονιοσυγγένεια, έτσι είναι φυσικώς απρόσμενο να μη δαπανούν τα δύο ηλεκτρόνια του δεσμού ένα σημαντικό μέρος του χρόνου τους κοντά σε αυτό. Εδώ ο Pauling πρότεινε την έννοια του *συντονισμού*. Αντί της γραφής μια απλής κυματοσυνάρτησης που αναπαριστά ένα μόριο H-Cl , θα έπρεπε να γραφτεί ακόμη μία για μια μικροσκοπική (και σε αυτή την περίπτωση, τοπική) ιοντική δομή, H^+Cl^- , και αμφότερες οι δομές θα έπρεπε να συμβάλλουν στην πραγματική δομή του μορίου. Αυτή η αποκαλούμενη «υπέρθωση» των κυματοσυναρτήσεων, που επιτρέπει και στις δύο δομές να συμβάλουν στην περιγραφή, ονομάζεται συντονισμός, και η προσθήκη του βελτιώνει την περιγραφή του μορίου (και έχει αποτέλεσμα μια χαμηλότερη υπολογιζόμενη ενέργεια: αυτό είναι πάντοτε μια ένδειξη βελτίωσης).

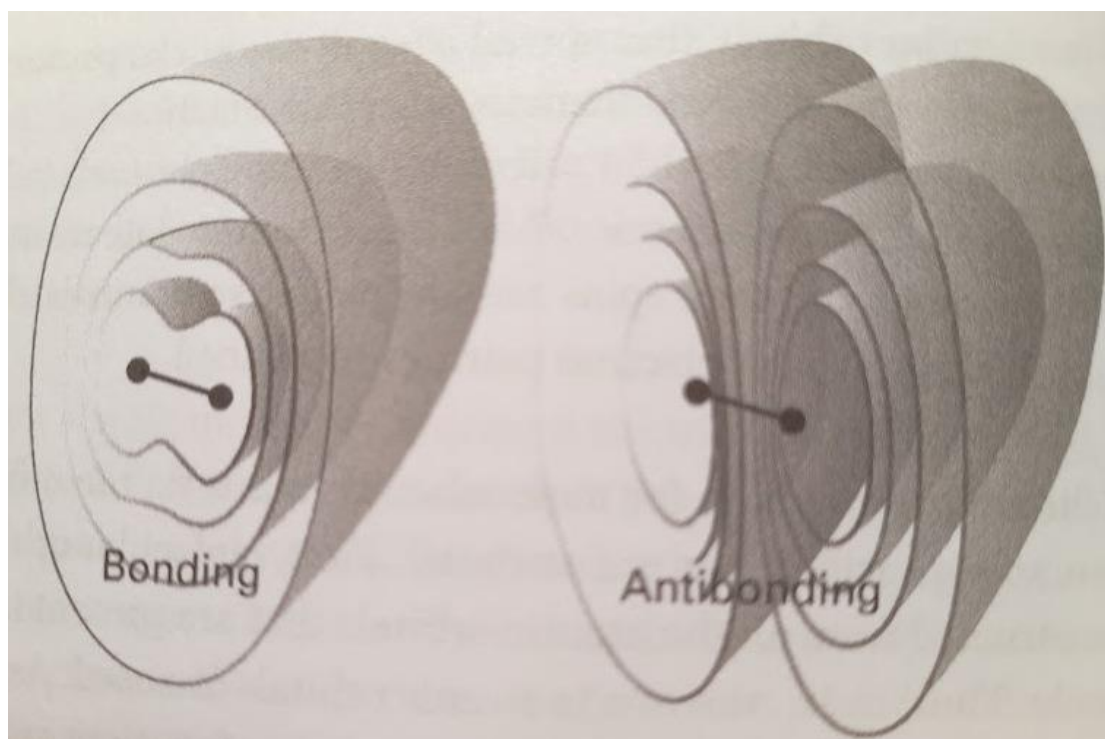
Ο συντονισμός ήταν ταυτόχρονα ο σωτήρας και η αιτία της πτώσης της θεωρίας δεσμού σθένους. Έσωσε την κατάσταση για τα μικρά μόρια, όπου υπάρχουν μόνο λίγες δομές συντονισμού για να λάβουμε υπόψη, αλλά αποδείχτηκε ένα ανυπέρβλητο

εμπόδιο για τα μεγάλα μόρια όπου χιλιάδες δομές θα μπορούσαν να συμβάλουν στον συντονισμό.

Η θεωρία των μοριακών τροχιακών αρχικά διατυπώθηκε από τους Robert Milliken (1896-1986) και Friedrich Hund (1896-1997) το 1927 ως ένας αντίπαλος της θεωρίας δεσμού σθένους. Το όνομα επινοήθηκε από τον Mulliken το 1932. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια φυσική επέκταση της θεωρίας της ηλεκτρονιακής δομής των ατόμων. Όπως έχουμε δει, σε ένα άτομο τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν (με άλλα λόγια, έχουν κατανομές που περιγράφονται από) κυματοσυναρτήσεις που ονομάζονται ατομικά τροχιακά. Σε ένα μόριο, σύμφωνα με τη θεωρία των μοριακών τροχιακών, τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν κυματοσυναρτήσεις που ονομάζονται «μοριακά τροχιακά», τα οποία απλώνονται πάνω από όλους τους πυρήνες, που παρίστανται στο μόριο και βοηθούν να τους συνδέουν μαζί σε μια σταθερή διάταξη. Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, κάθε μοριακό τροχιακό, όπως ένα ατομικό τροχιακό, μπορεί να χωρέσει το πολύ δύο ηλεκτρόνια και τα σπιν τους πρέπει να δημιουργούν ζεύγος, και έτσι εξηγείται άμεσα η σπουδαιότητα της δημιουργίας ζευγών ηλεκτρονίων του Lewis.

Η εξίσωση Schrödinger για τα μοριακά τροχιακά είναι υπερβολικά δύσκολη να επιλυθεί, έτσι είναι αναγκαίες οι προσεγγίσεις. Πρώτον, τα μοριακά τροχιακά κατασκευάζονται από όλα τα ατομικά τροχιακά που είναι παρόντα στο μόριο. Έτσι, στο H_2 , χρησιμοποιούνται τα δύο ατομικά τροχιακά $1s$. Όπως συμβαίνει σε οποιοδήποτε κύμα, όπου αυτές οι κυματοσυναρτήσεις εξαπλώνονται στην ίδια περιοχή του χώρου, συμβαίνει συμβολή κυμάτων (όπως αναφέρθηκε στη συζήτηση του υβριδισμού, αλλά εδώ έχουμε συμβολή μεταξύ κυμάτων που επικεντρώνονται σε γειτονικά άτομα). Σε αυτή την περίπτωση, η συμβολή μπορεί είτε να βελτιώνει το πλάτος των κυμάτων, όπου αυτά επικαλύπτονται, είτε να το ελαττώνουν. Το πρώτο δημιουργεί ένα *δεσμικό τροχιακό*, διότι τα ηλεκτρόνια που το καταλαμβάνουν θα βρεθούν συγκεντρωμένα μεταξύ των δύο πυρήνων και θα τους κολλήσουν τον έναν με τον άλλο μέσω της έλξης μεταξύ αντίθετων φορτίων. Καταστρεπτική επικάλυψη έχει ως αποτέλεσμα μια μείωση του πλάτους της κυματοσυνάρτησης μεταξύ των δύο πυρήνων και έτσι αφαιρεί τα ηλεκτρόνια από όπου είναι ωφέλιμο για αυτά να είναι. Ο συνδυασμός επομένως αυτός ονομάζεται ένα *αντιδεσμικό τροχιακό*, καθώς τα ηλεκτρόνια σε αυτό τείνουν να απομακρύνουν τους πυρήνες τον έναν από τον άλλον (Σχήμα 4).

Αν και η εξίσωση Schrödinger είναι πολύ δύσκολο να επιλυθεί για τα μόρια, έχουν αναπτυχθεί από θεωρητικούς χημικούς ισχυρές υπολογιστικές πορείες που οδηγούν σε αριθμητικές λύσεις μεγάλης ακριβείας. Όλες οι πορείες ξεκινούν με την κατασκευή μοριακών τροχιακών από τα διαθέσιμα ατομικά τροχιακά και μετά αρχίζει η αναζήτηση των καλύτερων φορμουλών. Αυτός ο κλάδος της φυσικοχημείας είναι θέμα έντονης ανάπτυξης καθώς η ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών αυξάνει. Οι απεικονίσεις των κατανομών των ηλεκτρονίων στα μόρια είναι τώρα συνηθισμένες και πολύ ελπιδοφόρες για την κατανόηση των ιδιοτήτων των μορίων. Είναι ιδιαίτερος συναφής προς την ανάπτυξη νέων αποτελεσματικών φαρμάκων, όπου οι ηλεκτρονιακές κατανομές παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του πώς ένα μόριο συνδέεται με ένα άλλο και πιθανόν εμποδίζει τη βλαβερή δράση ενός επικινδύνως προσβλητικού για τον οργανισμό μορίου.



Σχήμα 4: Τα δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά σε ένα διατομικό μόριο. Σε ένα δεσμικό τροχιακό, τα ηλεκτρόνια συσσωρεύονται μεταξύ των δύο πυρήνων και τους συνδέουν μεταξύ τους. Σε ένα αντιδεσμικό τροχιακό, αυτά αποκλείονται από την περιοχή μεταξύ των πυρήνων και οι δύο πυρήνες απωθούν ο ένας τον άλλο. Παρόμοιες παρατηρήσεις ισχύουν σε μόρια που συντίθενται από πολλά άτομα. Οι επιφάνειες είναι περιγράμματα ίσης πιθανότητας για εύρεση του ηλεκτρονίου.

Αυτές οι υπολογιστικές πορείες εμπίπτουν σε τρεις διευρυμένες κατηγορίες. Οι ημιεμπειρικές μέθοδοι αναγνωρίζουν ότι μερικοί υπολογισμοί είναι ακριβώς πολύ χρονοβόροι (και γι' αυτό ακριβοί) εκτός αν από κάποιες από τις απαιτούμενες στους υπολογισμούς παραμέτρους ληφθούν από το πείραμα. Οι γνησιότερες μέθοδοι *ab initio* («Μέθοδοι Εξυπαρχής») στέκονται μακριά από τον παραπάνω συμβιβασμό, και αναζητούν να εκτελέσουν τον υπολογισμό χωρίς να εισαγάγουν στον υπολογισμό τίποτε άλλο εκτός από τις ταυτότητες των ατόμων που είναι παρόντα. Αρχικά μόνο μικρά μόρια μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με αυτό τον τρόπο, αλλά καθώς η υπολογιστική ισχύς των Η/Υ αυξάνει, τόσο μεγαλύτερα και μεγαλύτερα μόρια εντάσσονται στο δίκτυο της υπολογιστικής χημείας. Μια μέθοδος που είναι τώρα στη μόδα είναι η ανάμειξη αυτών των μεθόδων: η *θεωρία της συνάρτησης πυκνότητας* (density functional theory) εφαρμόζεται ευρέως, καθώς παρέχει έναν γρήγορο και αρκετά ακριβή τρόπο υπολογισμού των ιδιοτήτων ενός ευρέος φάσματος μορίων.

Η τρέχουσα πρόκληση

Ο σχηματισμός χημικών δεσμών είναι ουσιαστικά πλήρως κατανοητός, εκτός από κάποιες δυσνόητες ερωτήσεις που σχετίζονται με τον ρόλο των συνεισφορών της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας και με την παρουσία σχετικιστικών επιδράσεων στα βαρέα άτομα. Η βασική εστίαση είναι τώρα στους αποτελεσματικούς και αξιόπιστους υπολογισμούς των ηλεκτρονιακών δομών ολοένα και μεγαλύτερων μορίων, συμπεριλαμβανομένων μορίων βιολογικού ενδιαφέροντος, των ηλεκτρονιακών ιδιοτήτων των νανοδομών, και λεπτομερείς περιγραφές της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων στα μόρια. Επίσης, όλο και περισσότερο μοντελοποιούνται υπολογιστικά οι χημικές αντιδράσεις, με την απόκτηση νέας γνώσης ως προς το πώς οι δεσμοί διασπώνται και νέοι δεσμοί σχηματίζονται. Η ανακάλυψη φαρμάκων, η ταυτοποίηση φαρμακολογικά ενεργών ειδών με υπολογισμό, αντί να γίνονται πειράματα *in vivo*, είναι ένας σημαντικός στόχος της μοντέρνας υπολογιστικής χημείας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη μοντέλων χημικού δεσμού

Keith S. Taber

Μετάφραση στα Ελληνικά: Ε. Πύργας και Γ. Τσαπαρλής

Από το βιβλίο «Teaching Secondary Chemistry», 2nd New edn., Editor: K. S. Taber, London: Association for Science Education / Hodder Education.

4.1 Από τη ικανότητα συγκράτησης στον χημικό δεσμό

Ιδιότητες των ουσιών

Δομή των υλικών

Εξήγηση της ικανότητας συγκράτησης

4.2 Αρχές που διέπουν την έννοια του δεσμού

Η φύση του χημικού δεσμού

Κβαντική θεωρία

4.3 Μοντελοποίηση των ειδών του χημικού δεσμού

Μεταλλικά πλέγματα

Ιοντικά πλέγματα

Ομοιοπολικός δεσμός

Πολικότητα δεσμού

Άλλοι τύποι δεσμών

4.4 Συσχετίζοντας το είδος του δεσμού με τις μεταβολές στη χημεία

Τήξη και βρασμός

Διάλυση

Δεσμοί και χημικές αντιδράσεις

Ο χημικός δεσμός είναι μια θεωρητική ιδέα που είναι ένα βασικό μέρος του τρόπου που η ύλη μοντελοποιείται από τους χημικούς στην υπομικροσκοπική κλίμακα (καθώς συντίθεται από εξαιρετικά μικρές «οντότητες», όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 1) και έτσι δεν είναι πιθανό να είναι οικείο σε μαθητές από τις εμπειρίες τους εκτός τάξης.

Ωστόσο, εάν τα σωματιδιακά μοντέλα εισαχθούν με τον τρόπο που συνιστάται σε αυτό το βιβλίο (Κεφάλαιο 2), οι μαθητές θα έχουν εισαχθεί στην ιδέα ότι τα σωματίδια από τα οποία συνίστανται οι ουσίες έχουν «μια ικανότητα συγκράτησης» ποικίλης ισχύος, που τείνει να τα αναγκάσει να συγκολλούνται, εκτός αν έχουν την επαρκή κίνηση που θα υπερνικήσει τη συγκόλληση αυτή.

Επιλέγοντας μια πορεία

Οι ιδέες που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο, επομένως, στηρίχθηκαν στην προηγούμενη μάθηση ότι οι χημικοί φαντάζονται την ύλη να αποτελείται από μυριάδες μικροσκοπικά κομμάτια (τα οποία συνήθως ονομάζεται σωματίδια, αλλά, όπως προτείνεται στα προηγούμενα κεφάλαια, αυτό μπορεί να είναι ένας παραπλανητικός όρος), τα οποία έχουν μια ικανότητα συγκράτησης η οποία τα οδηγεί στο να τείνουν να κολλούν μεταξύ τους. Το θέμα του χημικού δεσμού θα πρέπει, επομένως, να θεωρηθεί ως μέρος μιας μαθησιακής εξέλιξης από την εισαγωγική σωματιδιακή θεωρία.

Μια διαδρομή που σκεφτόμαστε σχετικά με τον χημικό δεσμό είναι από την άποψη των καταστάσεων της ύλης [οι (υπομικροσκοπικές) δομές που λαμβάνουν διάφορες στερεές ουσίες] και οι ιδιότητες των διαφόρων ουσιών. Όπως επισημαίνεται στο Κεφάλαιο 2, οι διάφορες ουσίες υπόκεινται σε αλλαγές φυσικής κατάστασης (στερεό σε υγρό, υγρό σε αέριο) σε πολύ διαφορετικές θερμοκρασίες. Βρήκαμε επίσης ότι οι ουσίες έχουν διαφορετικές συμπεριφορές αν, για παράδειγμα, προσπαθήσουμε να τις διαλύσουμε σε διαλύτες ή να διαβιβάσουμε ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτές. Αυτές οι διαφορές στη συμπεριφορά παρουσιάζονται στον χημικό με φαινόμενα που μπορούν να εξηγηθούν, και παρέχουν στον καθηγητή χημείας μια βάση για να εξερευνήσει τη φύση της «ικανότητα συγκράτησης» που οι μαθητές μαθαίνουν σχετικά νωρίς στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Μία δεύτερη πορεία για να προσεγγιστεί η ιδέα του χημικού δεσμού είναι μέσω της μοντελοποίησης των χημικών αντιδράσεων. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, συζητήθηκαν ιδέες για τη μοντελοποίηση των χημικών αντιδράσεων στη διδασκαλία, και προτάθηκε ότι η κατανόηση του τρόπου που οι χημικοί αντιλαμβάνονται τη χημική μεταβολή απαιτεί από τους μαθητές να σκεφτούν το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων στο επίπεδο των υπεισερχόμενων «κβαντοσωματιδίων» ('quanticles'): των μορίων και των ιόντων. Ένα απλοποιημένο μοντέλο παρουσίασης των χημικών αντιδράσεων που αφορά την αναδιάταξη των «ατόμων» μπορεί να προσφέρει ένα

σημείο εκκίνησης για σκέψη σχετικά με τη χημική μεταβολή στην κλίμακα των ατόμων, αλλά θέτει το ερώτημα γιατί τα άτομα φαίνονται να έρχονται «ξεκολλημένα» το ένα από το άλλο κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων, και στη συνέχεια κολλούν μαζί σε νέους συνδυασμούς. Αυτό παρέχει ένα δεύτερο κίνητρο για την ανάπτυξη των θεωριών του χημικού δεσμού.

Ο χημικός δεσμός είναι ένα δύσκολο θέμα γιατί σχετίζεται με τα θεωρητικά μοντέλα για οντότητες που είναι πάρα πολύ μικρές για να φαίνονται. Παρ' όλα αυτά, λόγω της σημασίας του στην κατανόηση των χημικών φαινομένων, έχει από καιρό αναγνωριστεί ως μια βασική έννοια της χημείας. Η αφηρημένη φύση του θέματος συμβάλλει αναμφίβολα στην πρόκλησή του ως τμήμα της διδακτέας ύλης της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, και οι μαθητές επιδεικνύουν συνήθως σοβαρές παρανοήσεις. Η ακολουθία διδασκαλίας που προτείνεται εδώ λαμβάνει υπόψη την έρευνα που είναι σχετική με τις μαθησιακές δυσκολίες μαθητών. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι τονίζουμε κάτι από την ηλεκτρική φύση των δεσμικών αλληλεπιδράσεων, προτού οι μαθητές να μπορέσουν να αναπτύξουν λανθασμένες ιδέες για τον κανόνα της οκτάδας, ότι δηλαδή είναι μια «αιτία» του δεσμού (δείτε το προηγούμενο κεφάλαιο).

Ενώ το θέμα του κεφαλαίου αυτού είναι μία από τις βασικές θεωρητικές ιδέες της χημείας, υπάρχει χώρος για συζήτηση τού πόσο πολλή λεπτομέρεια θα πρέπει να διδαχθούν οι διάφορες ομάδες των μαθητών. Πολλοί μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης θα βρουν αυτό το υλικό βαρετό και δύσκολο, και ίσως το πρόγραμμα σπουδών για ορισμένες ομάδες να μην προδιαγράφει πολλές συζητήσεις για το υλικό που καλύπτεται εδώ. Αντίστροφα, ορισμένες ομάδες μαθητών θα βρουν αυτό το υλικό συναρπαστικό (βλέπε κεφάλαιο 12), και μια πλήρης ανάπτυξη στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης παρέχει ένα πολύ χρήσιμο υπόβαθρο για εκείνους που είναι πιθανό να συνεχίσουν να μελετήσουν μετα-δευτεροβάθμια μαθήματα χημείας. Όπου οι μαθητές καλούνται να μελετήσουν τον χημικό δεσμό σε οποιαδήποτε εμβάθυνση, θα ήθελα να συστήσω ανεπιφύλακτα ότι πρέπει να υιοθετηθούν οι προσεγγίσεις που προσφέρονται εδώ. Ειδικότερα, κατανοώντας τον δεσμό ως κυρίως το αποτέλεσμα των ίδιων φυσικών δυνάμεων που μελετήθηκαν στη φυσική της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, είναι εκπαιδευτικά και επιστημονικά πολύ περισσότερο έγκυρο από το να αφήνουμε τους μαθητές να αναπτύσσουν ιδέες του χημικού δεσμού οι οποίες σχετίζονται με μυστικιστικές αντιλήψεις των ατόμων που αναζητούν ουσιαστικά να γεμίσουν τις στοιβάδες των ηλεκτρονίων τους ή να αποκτήσουν μυστηριώδεις αριθμούς ηλεκτρονίων.

4.1 Από τη ικανότητα συγκράτησης στον χημικό δεσμό

Καθώς ο χημικός δεσμός είναι μια αφηρημένη, θεωρητική, ιδέα, είναι σημαντικό να παρακινούνται οι μαθητές να μάθουν σχετικά με το θέμα αυτό. Εν πάση περιπτώσει, τα μοντέλα των διαφόρων ειδών του χημικού δεσμού θα πρέπει να φαίνονται ασαφή και σε μεγάλο βαθμό άνευ σημασίας για τους περισσότερους αρχάριους. Επομένως, αυτό το πρώτο τμήμα του κεφαλαίου βασίζεται σε προηγούμενα κεφάλαια, καθορίζοντας τι είναι εκείνο που η έννοια του χημικού δεσμού μπορεί να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε και να εξηγήσουμε. Η παροχή κάποιου υποβάθρου αυτού του τύπου είναι σημαντική για όλους τους μαθητές, αλλά μερικές ομάδες θα χρειαστούν περισσότερη πειστικότητα από άλλες.

Ιδιότητες των ουσιών

Είναι χρήσιμο να υπενθυμίσουμε στους μαθητές ότι δείγματα ουσιών μπορεί να υπάρχουν ως ένα στερεό, υγρό ή αέριο ανάλογα με τις συνθήκες (βλέπε κεφάλαιο 2) και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Αυτό θα μπορούσε να είναι ένα χρήσιμο πλαίσιο για τη δημιουργία μιας άσκησης επεξεργασίας δεδομένων. Για παράδειγμα, ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις θερμοκρασίες τήξης και βρασμού των χημικών στοιχείων της ομάδας 2 (αλκαλικών γαιών) και της ομάδας 17 (αλογόνων) στοιχείων στις περιόδους 2 έως 5 του περιοδικού πίνακα (βλέπε κεφάλαιο 1).

Πίνακας 4.1: Θερμοκρασίες τήξης και βρασμού για κάποια στοιχεία

Περίοδος	Στοιχείο 2 ^{ης} ομάδας	Θερμοκρασία τήξης /K	Θερμοκρασία βρασμού /K	Στοιχείο 17 ^{ης} ομάδας	Θερμοκρασία τήξης /K	Θερμοκρασία βρασμού /K
2	Βηρύλλιο	1556	2750	Φθόριο	53	85
3	Μαγνήσιο	923	1390	Χλώριο	172	239
4	Ασβέστιο	1123	1765	Βρώμιο	266	331
5	Στρόντιο	1043	1640	Ιώδιο	367	456

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που θα μπορούσαν να εμφανιστούν αυτά τα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένης της πολύ χρήσιμης μορφής διαγραμμάτων για τη σύγκριση των θερμοκρασιών των αλλαγών φυσικής κατάστασης των διαφόρων ουσιών που

εισήχθησαν στο κεφάλαιο 2 (βλέπε Σχήμα 2.6), αλλά σχεδιάστηκαν σε μια συγκεκριμένη κλίμακα. Για ορισμένες ομάδες μαθητών, ζητώντας τους να παραγάγουν μια σειρά από αυτά τα σχήματα για να κάνουν συγκρίσεις μεταξύ των στοιχείων θα είναι μια κατάλληλη εργασία-πρόκληση. Ανάλογα με τον διαθέσιμο χρόνο και την ταχύτητα με την οποία εργάζονται οι μαθητές, θα μπορούσαν να κληθούν να παραγάγουν μια σειρά από σχήματα για τη μία ή την άλλη ομάδα στοιχείων, ή να συγκρίνουν ένα ζεύγος δύο στοιχείων της ίδιας περιόδου. Ένα βασικό σημείο για να ελέγξετε την κατανόηση είναι να ζητήσετε από τους μαθητές να πουν σε ποια κατάσταση βρίσκονται, σε θερμοκρασία δωματίου, αυτά τα διαφορετικά στοιχεία, και το πόσο εύκολα μπορούν να παγώσουν / να λιώσουν κ.λπ. Από μια πιο ικανή ομάδα μαθητών μπορεί να ζητηθεί να βρουν εναλλακτικούς τρόπους για να εμφανίσουν τις πληροφορίες που φαίνονται στον Πίνακα 4.1 (π.χ. γραμμικά γραφήματα που απεικονίζουν τάσεις, ραβδογράμματα, κ.λπ.), και να σχολιάσουν τα υπέρ και τα κατά των διαφορετικών τρόπων παρουσίασης των δεδομένων.

Έχοντας υπενθυμίσει στους μαθητές για τις διάφορες καταστάσεις στις οποίες οι ουσίες βρίσκονται, και πώς αυτό εξαρτάται από τις θερμοκρασίες τήξης και βρασμού, μια άλλη χρήσιμη δραστηριότητα επικεντρώνεται στα στερεά. Στους μαθητές μπορεί να παρουσιαστεί ένα δείγμα διαφόρων στερεών σε σφραγισμένους δοκιμαστικούς σωλήνες, και να τους ζητηθεί να προτείνουν πώς αυτά τα διαφορετικά στερεά δείγματα των ουσιών μπορούν να έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Μια κατάλληλη επιλογή μπορεί να περιλαμβάνει:

- σκόνη θείου
- ράβδο γραφίτη
- ρινίσματα χαλκού
- ξύσματα από κερί υδρογονανθράκων
- ρινίσματα σιδήρου
- ταινία μαγνησίου
- φύλλο ψευδαργύρου
- κρυστάλλους θειικού χαλκού
- ένα κομμάτι γυάλινης ράβδου
- κρυστάλλους μαγειρικού άλατος
- χάντρες πολυαιθυλενίου.

Είναι καλύτερα να αποφευχθούν σύνθετα υλικά (όπως το ξύλο) και να χρησιμοποιηθούν μόνο δείγματα που μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι συγκεκριμένες ουσίες. Αυτή η δραστηριότητα μπορεί να συσταθεί ως εργασία ομαδικής συζήτησης, με τους μαθητές να εξερευνούν και να ταξινομούν τις ιδέες τους σε μικρές ομάδες. Ζητήστε από τους μαθητές όχι μόνο να στηρίζουν τις προτάσεις τους στις παρατηρήσεις τους, αλλά επίσης και το υπόβαθρο της γνώσης τους σε αυτές (και άλλες) ουσίες. Μετά την παροχή μιας περιόδου για συζήτηση, ζητήστε από κάθε ομάδα να μοιραστεί τις προτάσεις της με την τάξη, και να τις καταγράψει στον πίνακα. Όλες οι λογικές προτάσεις θα πρέπει να θεωρούνται αποδεκτές.

Μετά την συλλογή προτάσεων, τονίστε στους μαθητές εκείνα τα χαρακτηριστικά ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στους χημικούς. Ένα σημαντικό σημείο της διδασκαλίας είναι ότι τα δείγματα της ίδιας ουσίας μπορεί να πάρουν διαφορετικές μορφές. Έτσι μολονότι ο γραφίτης εμφανίζεται σε ράβδους, είναι επίσης διαθέσιμος και σε σκόνη. Ομοίως, τα ρινίσματα σιδήρου έχουν ένα σχετικά μικρό μέγεθος σωματιδίων, αλλά είναι δυνατόν να υπάρχουν και ενιαία μεμονωμένα κομμάτια σιδήρου σημαντικού μεγέθους. Έτσι μερικές ιδιότητες του υλικού δεν είναι εγγενείς σε μια ουσία, αλλά εξαρτώνται από το πώς ένα συγκεκριμένο δείγμα προετοιμάστηκε.

Μερικές σχετικές ιδέες που οι μαθητές θα μπορούσαν να παρουσιάσουν (και τις οποίες εσύ μπορεί να θες να επισημάνεις διαφορετικά) είναι οι εξής:

- Ορισμένες ουσίες είναι ημιδιαφανείς ή διαφανείς, εκεί όπου άλλες είναι αδιαφανείς.
- Ορισμένες ουσίες έχουν (διάφορα) χρώματα.
- Ορισμένες ουσίες είναι λαμπερές, ενώ άλλες είναι θαμπές.
- Οι ουσίες έχουν διαφορετικές πυκνότητες στην ίδια θερμοκρασία.
- Ορισμένες ουσίες είναι προφανώς κρυσταλλικές (κανονικά διαμορφωμένα στερεά με επίπεδες επιφάνειες).
- Οι ουσίες διαλύονται στο νερό σε διαφορετικό βαθμό.
- Οι ουσίες διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες (π.χ. ένα φυτικό έλαιο) σε διαφορετικό βαθμό.
- Για μερικές, αλλά όχι όλες, τις ουσίες συχνά αισθανόμαστε κρύο κατά το άγγιγμά τους.
- Ορισμένες ουσίες είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, ενώ άλλες είναι μονωτές.

- Ορισμένες ουσίες έλκονται από μαγνήτες, αλλά οι περισσότερες όχι.
- Ορισμένες ουσίες είναι σκληρές, και μερικές μαλακές.
- Ορισμένες ουσίες είναι ελαστικές (παραμορφώνονται και στη συνέχεια επιστρέφουν στο αρχικό τους σχήμα) και άλλες πλαστικές (παραμορφώνονται, και διατηρούν το νέο σχήμα) ή εύθραυστες (σπάνε εύκολα).
- Όπως επισημάνθηκε νωρίτερα, μερικά στερεά θα λιώσουν σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από ό,τι άλλα.

Μπορεί εδώ να υπάρχουν περιθώρια για να συμπεριληφθεί κάποια πρακτική εργασία στην τάξη, ή κάποιες ασκήσεις επίδειξης, για να τονίσετε κάποιες από αυτές τις ιδιότητες, αν το επιτρέπει ο χρόνος. Αυτοί οι τύποι των ιδιοτήτων συχνά αναφέρονται ως «φυσικές ιδιότητες» αντίθετα με τις «χημικές ιδιότητες» (το προφίλ των χημικών αντιδράσεων που υφίστανται διάφορες ουσίες).

Η δομή των υλικών

Ως μια επιστήμη, η χημεία επιδιώκει να βρει εξηγήσεις για τα χημικά φαινόμενα. Έτσι, οι χημικοί ενδιαφέρονται για τους λόγους για τους οποίους διαφορετικές ουσίες έχουν τόσο διαφορετικές ιδιότητες. Αυτό οδηγεί τους χημικούς να προσπαθήσουν και να ανακαλύψουν τη δομή των διαφόρων ουσιών στην υπομικροσκοπική κλίμακα: πώς τα συστατικά σωματίδια τοποθετούνται σε δομές. Ωστόσο, η κλίμακα αυτής της δομής είναι πάρα πολύ μικρή για να διερευνηθεί με τα συνηθισμένα οπτικά μικροσκόπια, έτσι οι χημικοί έχουν υιοθετήσει ένα ευρύ φάσμα ειδικών τεχνικών για να διερευνήσουν τη δομή σε αυτό το επίπεδο.

Καθώς αυτές οι τεχνικές είναι γενικά πολύ προχωρημένες για να εξηγηθούν σε έναν κύκλο σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, είναι μάλλον λογικό να τις παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό ως εργαλεία «μαύρου κουτιού» που ο μαθητής δεν αναμένεται να κατανοήσει – παρόμοια με την προσέγγιση που υιοθετήθηκε στο κεφάλαιο 1 στον ειδικό «στοιχειακό αναλυτή» του χημικού (ένα φασματοόμετρο μάζας). Μια ποικιλία των σύγχρονων χημικών αναλυτικών τεχνικών έχουν χρησιμοποιηθεί για να διερευνήσουν δομές, συμπεριλαμβανομένων της περίθλασης ακτίνων Χ και διαφόρων μορφών φασματοσκοπίας. Οι τεχνικές αυτές εξαρτώνται από τη φυσική (την κυματική φυσική) που μερικοί μαθητές θα μελετήσουν στο ανώτερο δευτεροβάθμιο επίπεδο, και η ανακάλυψη αυτών των τεχνικών μπορεί να είναι μια

κατάλληλη επέκταση ή δραστηριότητα για οικιακή εργασία για μερικούς (αλλά πιθανώς όχι τους περισσότερους) μαθητές. Οι τεχνικές αυτές παρέχουν πληροφορίες, όπως λένε οι χημικοί, σχετικά με την ειδική διάταξη των ατομικών κέντρων σε διαφορετικές ουσίες – τη γεωμετρία των δομών, και πόσο κοντά μεταξύ τους είναι οι ατομικοί πυρήνες.

Οι κρυσταλλικές δομές έχουν πολύ συνηθισμένες μορφές ατομικών κέντρων. Παρά το γεγονός ότι οι μαθητές δεν αναμένεται κανονικά να γνωρίζουν τις λεπτομέρειες των κρυσταλλικών δομών στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, πολλοί μαθητές θα ενδιαφερθούν να δουν μοντέλα των κοινών δομών. Ένα μοντέλο της δομής του NaCl θα δείξει στους μαθητές ότι οι ατομικοί πυρήνες του νατρίου και του χλωρίου έχουν μια πολύ κανονική διάταξη, στην οποία συσσωρεύονται σε ένα κυβικό μοτίβο. Ένα μοντέλο της δομής του διαμαντιού θα δείξει μια εκτενή κανονική διάταξη της ίδιας μονάδας (άνθρακα) με μια τετραεδρική γεωμετρία. Κοινές μεταλλικές δομές βασίζονται γύρω από κάθε ατομική καρδιά που έχει 8 ή 12 κοντινούς γειτονικούς πυρήνες.

Ένα πολύ σημαντικό εύρημα από δομικές μελέτες είναι ότι μερικές φορές ένα στερεό έχει μια εκτεταμένη διάταξη ατομικών καρδιών, όλοι συγκρατούνται κοντά με όλους τους γείτονές τους, αν και μερικές φορές υπάρχει ένας διαφορετικός τύπος δομής με μικρό αριθμό ατομικών καρδιών στενά συνδεδεμένων μεταξύ τους – αλλά με αυτές τις μικρές μονάδες να είναι πιο χαλαρά συνδεδεμένες με άλλες σαν αυτές. Αυτό υποδηλώνει ότι η ιδέα της «ικανότητας συγκράτησης» (βλέπε κεφάλαιο 2) που συγκρατεί τα σωματίδια μαζί σε δομές δεν είναι απλή.

Οι ιδέες και μαρτυρίες σχετικά με τις χημικές δομές

Δεν είναι μόνο οι αναλυτικές τεχνικές που αποκαλύπτουν τις δομές των ουσιών στην υπομικροσκοπική πολύπλοκη κλίμακα, αλλά τα δεδομένα που συχνά παράγουν την αναγκαία σημαντική ερμηνεία. Αυτός μπορεί να είναι ένας άλλος καλός λόγος για να θεωρήσουμε αυτές τις τεχνικές ως «μαύρα κουτιά» - ως εργαλεία που οι χημικοί χρησιμοποιούν, αλλά τα οποία δεν χρειάζεται να κατανοηθούν σε δευτεροβάθμιο επίπεδο.

Ωστόσο, με κάποιες ομάδες μαθητών (βλέπε κεφάλαιο 12), θα ήταν ίσως σκόπιμο να εξετάσουμε μερικά παραδείγματα της απόδοσης ορισμένων από αυτές τις τεχνικές: όπως υπέρυθρες (IR), υπεριώδεις (UV), ορατό, πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR), φάσματα και μοτίβα διάθλασης ακτίνων X. Πολλά παραδείγματα μπορούν να

βρεθούν στο διαδίκτυο. Αυτό που έχουν κοινό όλες αυτές οι τεχνικές είναι μια απόδοση που είναι αρκετά *διαφορετική* από τις διευκρινιζόμενες δομές, προσφέροντας έμμεση πληροφορία. Δηλαδή, υπάρχει μια κύρια εργασία που ερμηνεύει τα χαρακτηριστικά των διαφόρων μοτίβων περίθλασης ή φασμάτων για τον εντοπισμό των πληροφοριών που απαιτούνται για να καθοριστούν οι ίδιες οι δομές (η ταινία «Life Story» προσφέρει μια εξαιρετική δραματοποίηση αυτού – δείτε τον κατάλογο των «άλλων πηγών» στο τέλος του κεφαλαίου). Αυτό συνθέτει το σημαντικό σημείο της διδασκαλίας, ότι συχνά δηλαδή δεν υπάρχει απλή πορεία από τα δεδομένα που λαμβάνονται σε επιστημονικά πειράματα προς ένα προφανές και σαφές συμπέρασμα, και ότι συχνά η ανάπτυξη των νέων τεχνικών δεν αφορά μόνο την κατασκευή μηχανημάτων – τη φυσική συσκευή – αλλά επίσης την ανάπτυξη (κατασκευή, δοκιμή, επιβεβαίωση) ενός μαθηματικού και αναλυτικού μηχανισμού που μας επιτρέπει να εξαγάγουμε συμπεράσματα από τα δεδομένα.

Ενώ αυτό προσφέρει στους μαθητές μια μπερδεμένη και σύνθετη εικόνα της φύσης της χημείας, είναι μια εικόνα που είναι πιο ρεαλιστική από ό,τι είναι πιθανό να αποκτηθεί από πολλές πρακτικές σχολικής χημείας που έχουν αναπτυχθεί για να δώσουν ευκόλως ερμηνευόμενα αποτελέσματα. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς μια βασική πτυχή του επιστημονικού γραμματισμού εκτιμά γιατί υπάρχει συχνά έντονη συζήτηση μεταξύ των επιστημόνων σχετικά με την ερμηνεία των αποδεικτικών στοιχείων (π.χ. το επίπεδο κινδύνου στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας, ο βαθμός στον οποίο ο άνθρωπος συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη), και γιατί αποδεκτές επιστημονικές ιδέες βρίσκονται μερικές φορές να είναι λάθος. Ένας από τους βασικούς στόχους της επιστημονικής εκπαίδευσης, συμπεριλαμβανομένης της χημικής εκπαίδευσης, θα πρέπει να επιτρέπει στους μαθητές να εκτιμήσουν την επιστήμη ως αξιόπιστη πηγή γνώσης με βάση τη λογική ανάλυση των αποδεικτικών στοιχείων, αναγνωρίζοντας ταυτόχρονα ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι ποτέ απόλυτη και υπεράνω αναθεώρησης.

Εξηγώντας την ικανότητα συγκράτησης

Στο κεφάλαιο 2 τονίζεται ο τρόπος με τον οποίο ένα δείγμα μιας ουσίας θα μπορούσε να είναι στερεό, υγρό ή αέριο, ανάλογα με την «ικανότητα συγκράτησης» των «σωματιδίων» και από το πόσο γρήγορα αυτά κινούνται: όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του δείγματος, τόσο ταχύτερη είναι η κίνηση των συστατικών του

«σωματιδίων», και τόσο λιγότερο αποτελεσματική είναι η «ελκτική δύναμη» που συγκρατεί αυτά μαζί.

«(Χημικός) Δεσμός» είναι ο όρος που χρησιμοποιείται στη χημεία ως επίσημη ετικέτα για την ικανότητα συγκράτησης. Στην προηγούμενη ενότητα, προτάθηκε ότι οι δομικές μελέτες αναφέρουν ότι αυτή η ικανότητα συγκράτησης ή δεσμός δεν ενεργεί πάντα με τον ίδιο τρόπο – έτσι μερικές φορές φαίνεται να δημιουργούνται οργανωμένες διευθετήσεις που κρατούν τα σωματίδια πολύ κοντά μεταξύ τους, και μερικές φορές οδηγεί σε πιο τυχαίες, πιο ασθενώς συνδεδεμένες, συμπαγείς μάζες. Ως εκ τούτου, οι χημικοί ζητούν μια εξήγηση, όχι μόνο για την προέλευση της ελκτικής δύναμης, αλλά και για αυτούς τους διαφορετικούς τύπους φαινομένων. Αποκαλύπτεται ότι ο χημικός δεσμός είναι ένα πολύ σύνθετο θέμα, αλλά και ότι πολλά μπορούν να εξηγηθούν από την απλή αρχή ότι ηλεκτρικά φορτία έλκουν και απωθούν το ένα το άλλο:

Πίνακας 4.2: Έλξη και άπωση ηλεκτρικών φορτίων

	θετικά φορτία (τέτοια όπως σε ατομικές καρδιές, κατιόντα, πυρήνες)	αρνητικά φορτία (τέτοια όπως σε ηλεκτρόνια, ανιόντα)
θετικά φορτία (τέτοια όπως σε ατομικές καρδιές, κατιόντα, πυρήνες)	απωθούνται	έλκονται
αρνητικά φορτία (τέτοια όπως σε ηλεκτρόνια, ανιόντα)	έλκονται	απωθούνται

Χρειαζόμαστε επίσης την ιδέα του χημικού δεσμού για να παραγάγουμε πιο λεπτομερή μοντέλα του τι συμβαίνει (σε υπομικροσκοπικές κλίμακες) όταν συμβαίνουν χημικές αντιδράσεις, όπως έχουμε δει αυτό συνεπάγεται κάποιους προηγούμενως συνδεδεμένους συνδυασμούς κβαντοσωματιδίων που διασπώνται και σχηματίζουν νέες διευθετήσεις (βλ. Κεφάλαιο 3). Αυτό πάλι είναι ένα περίπλοκο θέμα, αλλά ένα χρήσιμος κανόνας είναι ότι οι αντιδράσεις επιτρέπουν αναδιατάξεις που οδηγούν σε συστατικά κβαντοσωματίδια που συγκρατούνται μαζί πιο δυνατά - ή πιο έντονα δεμένα (ή συνδεδεμένα). Όταν θεωρήσουμε αυτήν την ιδέα σε σχέση με το ότι ο δεσμός είναι ένα ηλεκτρικό φαινόμενο, μπορούμε να σκεφτούμε ότι οι χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν όταν το επιτρέπουν τα παρόντα (ηλεκτρικά) φορτία [οι

πυρήνες των ατόμων μαζί με τα εσωτερικά ηλεκτρόνια (atomic cores / ατομικές «καρδιές») και τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας] για να αναδιαταχθούν σε μια πιο σταθερή δομή. Όπως θα δούμε αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο, αυτό δεν είναι όλη η ιστορία, αλλά παρέχει ένα χρήσιμο σημείο εκκίνησης για μια εξήγηση του τι συμβαίνει, το οποίο, αν και όχι πλήρες, είναι τουλάχιστον επιστημονικά ορθό και μπορεί να γίνει κατανοητό από τους μαθητές λυκείου. Για να συνοψίσω, αυτό είναι ένα θέμα που δεν μπορεί να μελετηθεί με κάθε λεπτομέρεια από μερικούς μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (βλ. κεφάλαιο 12), αλλά είναι αρκετά σημαντικό όταν είναι μέρος του προγράμματος σπουδών θα πρέπει να το διδάξουμε χρησιμοποιώντας επιστημονικά έγκυρα μοντέλα με τρόπους που βοηθούν τους μαθητές να βλέπουν τη φύση της χημείας, δηλαδή ως μια επιστήμη που αναπτύσσει θεωρητικά μοντέλα που μας βοηθούν να εξηγήσουμε τα φαινόμενα.

4.2 Αρχές που διέπουν την έννοια του δεσμού

Κατά την εξέταση των χημικών αντιδράσεων, ή στην πραγματικότητα διαδικασιών τέτοιες όπως αλλαγές της κατάστασης και της διάλυσης, από την άποψη των υπομικροσκοπικών σωματιδιακών μοντέλων, είναι σαφές ότι οι στοιχειώδεις οντότητες (ιόντα, μόρια κ.λπ.) τείνουν να συγκεντρωθούν όλες μαζί και ότι οι αλλαγές που παρατηρούμε σε μια μακροσκοπική κλίμακα μπορούν να εξηγηθούν από την άποψη των μετατροπών αυτών των θεωρητικών σωματιδίων. Θα μπορούσαμε να σκεφτούμε αυτές τις αλλαγές από την άποψη δύο τύπων ανταγωνιστικών παραγόντων:

1. Η επίδραση της έλξης μεταξύ στοιχειωδών οντοτήτων βρίσκεται σε αντίθεση με την ενυπάρχουσα κίνηση των στοιχειωδών οντοτήτων. (Υψηλότερες θερμοκρασίες σημαίνουν μεγαλύτερη κίνηση. Αυτό καλύπτεται σε μεγαλύτερο βάθος στο κεφάλαιο 2.)

2. Το αποτέλεσμα των ανταγωνισμών μεταξύ των διαφόρων πιθανών διατάξεων (με χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα όταν υπάρχει αρκετή ενέργεια διαθέσιμη για να καταστρέψει μια διάταξη και επιτρέπει έναν επανασχηματισμό σε μια πιο σταθερή διάταξη. Αυτή η ιδέα της ενέργειας «ενεργοποίησης» εξετάζεται περαιτέρω στο κεφάλαιο 5. Μια βασική ιδέα εδώ είναι ότι η ηλεκτρική σύνδεση συγκρατεί μαζί διάφορα κβαντοσωματίδια σε ποικίλους σχηματισμούς.

Η φύση του χημικού δεσμού

Στο επίπεδο στο οποίο μπορούμε να μιλήσουμε για τον χημικό δεσμό στη χημεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, μπορούμε να τον σκεφτούμε σαν ένα ηλεκτρικό φαινόμενο. Τα βασικά συστατικά της ύλης είναι ηλεκτρικά φορτισμένα (θετικοί πυρήνες, που περιέχουν θετικά πρωτόνια, και αρνητικά ηλεκτρόνια) και στη χημεία είναι συχνά πιο χρήσιμο να σκεφτούμε τη χημική αλλαγή σε όρους αναδιατάξεων των θετικών ατομικών καρδιών που περιβάλλονται από αρνητικά ηλεκτρόνια. Τα όμοια φορτία απωθούνται (οι ατομικές «καρδιές» απωθούνται, τα ηλεκτρόνια απωθούνται), αλλά τα αντίθετα φορτία έλκονται (οι ατομικές καρδιές έλκουν και έλκονται από τα ηλεκτρόνια) και οι ελκτικές δυνάμεις που φέρνουν τις καρδιές και τα ηλεκτρόνια μαζί σε διατάξεις, μέχρι που ομοίως φορτισμένα συστατικά να είναι αρκετά κοντά για να ισορροπήσει η άπωση την έλξη. Αυτό σχηματίζει μια διάταξη ισορροπίας, η οποία είναι σταθερή επειδή οποιαδήποτε μικρή διατάραξη από αυτή τη θέση θα εμποδιστεί από τις ηλεκτρικές δυνάμεις. Αυτό ισχύει για τα άτομα, τα ιόντα, τα μόρια, τα πλέγματα κ.λπ.

Όπως συχνά στη σχολική επιστήμη, εδώ παρουσιάζουμε ένα μοντέλο. Είναι ένα μοντέλο που έχει περιορισμούς και προχωρημένοι μαθητές θα συνεχίσουν να συναντήσουν πιο εξελιγμένες ιδέες. Αυτό πρέπει να μην είναι προβληματικό, εφόσον (α) είμαστε σαφείς ότι διδάσκουμε μοντέλα και (β) οι μαθητές μας καταλαβαίνουν ότι η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων είναι ένα βασικό τμήμα της δουλειάς των επιστημών, όπως η χημεία. Υπό την προϋπόθεση ότι οι μαθητές εκτιμούν τον ρόλο και τη φύση των μοντέλων στη χημεία, τότε μπορούμε να τους διδάξουμε σχετικά με τα μοντέλα τα οποία οι χημικοί βρίσκουν χρήσιμα ως εργαλεία σκέψης, ακόμη κι αν αυτά είναι αναγκαστικά περιορισμένες περιγραφές της φύσης. Αυτό θα αποτρέψει τους μαθητές να σκέπτονται αυτά τα μοντέλα σαν να είναι είτε απόλυτες περιγραφές του μοριακού κόσμου (κάνοντας αργότερα την εξέλιξη στον τρόπο σκέψης δύσκολη) ή άσκοπα πράγματα που καλούνται να μάθουν για τις εξετάσεις, αλλά κατόπιν θα πρέπει να ειπωθεί σε αυτούς ότι είναι λάθος αν αυτοί αργότερα συνεχίσουν τη μελέτη του θέματος σε υψηλότερο επίπεδο.

Στις συνομιλίες μου με προχωρημένους μαθητές, είναι σαφές ότι ένα μεγάλο μέρος της αγωνίας που προκαλείται από εκείνους τους καθηγητές, οι οποίοι φαίνεται να είναι υπερήφανοι για ανόητες απλουστεύσεις, συναντώνται σε προηγούμενα επίπεδα σπουδών, που προσφέρουν την υπόσχεση ότι σε αυτό το μάθημα ο μαθητής θα ανακαλύψει τρόπους όπως τα πράγματα είναι πραγματικά. Είναι σίγουρα πολύ καλύτερα ότι εμείς, ως καθηγητές της χημείας, αντανakλούμε και τα δύο, τη φύση της

επιστήμης, αναγνωρίζοντας ότι όλα τα μοντέλα και οι θεωρίες μας είναι μερικώς, περιορισμένες περιγραφές της φύσης και επίσης αντικατοπτρίζουν την καλή εκπαιδευτική πρακτική διδάσκοντας μόνο ιδέες κάποιας πνευματικής αξίας. Πρέπει να συνεχίσουμε να εκτιμούμε τα προηγούμενα επιτεύγματα των μαθητών, αναγνωρίζοντας ότι η πιο βασική μάθηση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της κατανόησης του τι μπορεί να είναι ένα πολύ αφηρημένο θέμα.

Όταν οι μαθητές συναντούν πρώτη φορά την ιδέα του χημικού δεσμού, έχουν περιορισμένη εμπειρία στην οποία θα κατασκευαστεί ένα μοντέλο από την άποψη των ηλεκτρικών δυνάμεων. Οι μαθητές της κατώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχουν συνήθως περιορισμένη εκτίμηση των δυνάμεων μεταξύ των φορτίων και συνήθως σκέφτονται τους δεσμούς όχι ακριβώς ως φυσική ύπαρξη (μιας δύναμης) αλλά στην πραγματικότητα ως υλικό. Μπορούν να σκεφτούν από την άποψη της κόλλας, μπαστουνιών, ελατηρίων και διάφορες άλλες φυσικές συνδέσεις – και κάποιες από αυτές μπορεί επίσης να προέρχεται από τα φυσικά μοντέλα που χρησιμοποιούμε στη διδασκαλία (όπου οι πλαστικές σφαίρες συνδέονται με τέτοια υλικά μέσα). Είναι δύσκολο για τους σπουδαστές να σκεφτούν για τον δεσμό ότι δεν οφείλεται σε κάποια υλική σύνδεση, ακόμη και εάν (και αυτό δεν συμβαίνει πάντα), εκτιμούν ότι όταν λαμβάνοντας υπόψιν ηλεκτρόνια και ιόντα και μόρια, δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν μικρότερα συνδετικά υλικά που να τα συγκρατούν μαζί. Αντιμετωπίζοντας αυτό ως δάσκαλος απαιτεί κάποια λεπτότητα. Όταν διδάσκονται αφηρημένες έννοιες, είναι σημαντικό να βρείτε συνδέσεις με τις υπάρχουσες εμπειρίες και τις ιδέες των μαθητών, ωστόσο η αντίληψη ότι οι χημικοί δεσμοί είναι συνδετικά υλικά είναι σαφώς μια σοβαρή παρανόηση. Ως εκπαιδευτικοί θα πρέπει να καλωσορίσουμε τους μαθητές κάνοντας συγκρίσεις με ό,τι είναι γνωστό – ο δεσμός ενεργεί σαν κόλλα ή σαν μια ελαστική ταινία που ενώνει δύο πράγματα μαζί – ενώ προσπαθούμε να διασφαλίσουμε ότι αυτή η αναλογία δεν θα γίνει αντιληπτή ως ταυτότητα (με άλλα λόγια, δεν είναι ότι ο δεσμός είναι ένα ελατήριο μεταξύ δύο ατόμων).

Μερικοί σπουδαστές μπορεί να σκεφτούν ότι η ύπαρξη του δεσμού στο άτομο οφείλεται σε μαγνήτες. Αυτό δεν είναι μια τέλεια σύγκριση (καθώς οι μαγνήτες έχουν δύο πόλους, σε αντίθεση με τα φορτισμένα σωματίδια), αλλά οι μαθητές θα είναι εξοικειωμένοι με το μαγνητισμό που ενεργεί ως φυσική δύναμη η οποία μπορεί να υπάρξει χωρίς υλική σύνδεση - δηλαδή μέσα από ένα πεδίο – και υπό αυτή την έννοια αυτό μπορεί να είναι μια πιο κατάλληλη αναλογία. Ωστόσο, παραμένει σημαντικό να τονίσουμε ότι η σύνδεση είναι ηλεκτρική. (Σε υψηλότερα επίπεδα σπουδών εκείνοι οι

μαθητές που συνεχίζουν με τη χημεία θα διαπιστώσουν ότι στην πραγματικότητα υπάρχει μια μαγνητική συνιστώσα για την ατομική δομή και τον δεσμό, αλλά στο εισαγωγικό επίπεδο αυτό είναι μια άχρηστη περιπλοκότητα. Πράγματι, σε τελική ανάλυση, ο μαγνητισμός είναι ένα ηλεκτρικό φαινόμενο, αλλά και πάλι αυτό είναι μια άχρηστη περιπλοκότητα για να εισαχθεί εδώ.)

Κβαντική θεωρία

Το ηλεκτρικό μοντέλο δεν είναι όλη η ιστορία, καθώς δεν εξηγεί γιατί οι σταθερές διευθετήσεις που παράγονται από τις ηλεκτρικές δυνάμεις τόσο συχνά οδηγούν σε είδη με συγκεκριμένες ηλεκτρονιακές απεικονίσεις (δύο ηλεκτρόνια στην πρώτη στοιβάδα και συχνά οκτώ στην εξωτερική στοιβάδα ενός είδους). Αυτό δεν είναι κανονικά αντιμετωπίσιμο μέχρι πιο προχωρημένα επίπεδα της μελέτης, όπως συνήθως θεωρείται ότι είναι ένα δύσκολο θέμα. Κατ' αρχήν, ωστόσο, αυτό σχετίζεται με τον τρόπο του πώς στην πιο μικροσκοπική κλίμακα, τα πάντα είναι κβαντισμένα: τέτοιες ποσότητες όπως η ενέργεια και η στροφορμή βρέθηκαν να υπάρχουν σε πακέτα ελάχιστου μεγέθους. Αυτό είναι παρόμοιο με τον τρόπο με τον οποίο κβαντώνονται η ύλη και το φορτίο, δίνοντάς μας βασικές μονάδες όπως τα ηλεκτρόνια, που δεν μπορούν να διαιρεθούν σε τίποτα μικρότερο. Ότι υπάρχει ένα θεμελιωδώς ελάχιστο πακέτο ή κβάντο από κάτι όπως το φορτίο, συχνά φαίνεται μια πολύ αντιφατική ιδέα, αλλά μια ιδέα που οι μαθητές συνήθως έρχονται να αποδεχθούν, δίνοντάς τους πολλές ευκαιρίες να εξερευνήσουν και να χρησιμοποιήσουν τα σωματιδιακά μοντέλα της ύλης.

Μια ισχυρή ένδειξη ότι το ηλεκτρικό μοντέλο δεν μπορεί να είναι η όλη ιστορία, είναι πως σε ατομικές και μοριακές δομές τα ηλεκτρόνια θεωρούνται συχνά να βρίσκονται σε ζεύγη – ζεύγη ηλεκτρονίων σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς ανάμεσα σε ατομικές καρδιές και μη δεσμικά ζευγάρια ηλεκτρονίων σε ορισμένα άτομα σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με άτομα υδρογόνου που συνδέονται με άλλα άτομα. Αν οι ηλεκτρικές δυνάμεις ήταν ο μοναδικός σημαντικός παράγοντας, τότε τα ηλεκτρόνια δεν θα πρέπει να αναμένεται να ενεργούν ως ζεύγη. Ωστόσο οι μαθητές σπάνια φαίνεται να εγείρουν αυτό ως ένα ζήτημα, κάτι που δείχνει πόσο δύσκολο είναι να τους πείσουμε να σκέφτονται κυρίως όσον αφορά τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις. Ένας δάσκαλος που βρίσκει μαθητές που εγείρουν αυτή την εναντίωση, μπορεί πιθανώς να θεωρηθεί ότι κάνει καλύτερα από τους περισσότερους στο να βοηθούν τους μαθητές να σκεφτούν σχετικά με την ύλη στην υπομικροσκοπική κλίμακα με τον τρόπο που το κάνουν οι χημικοί. (Τα ηλεκτρόνια απωθούνται, αλλά η ύπαρξη της

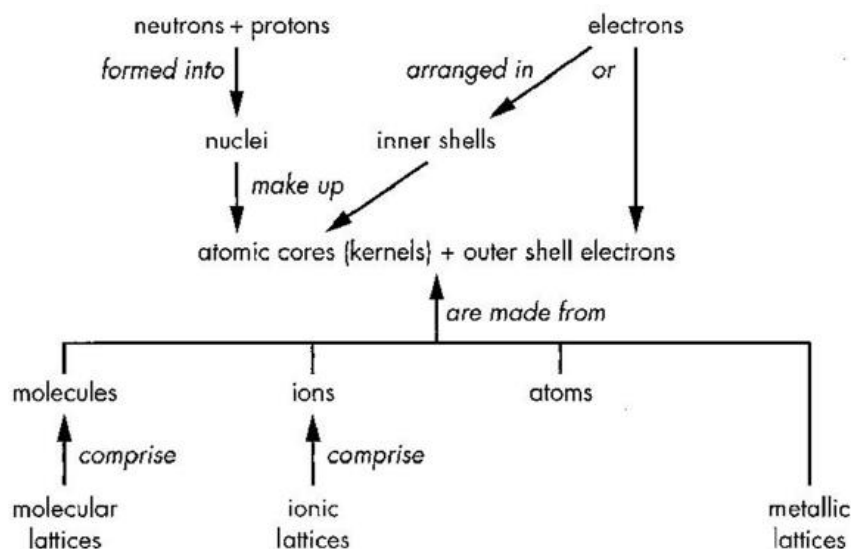
κβαντικής μηχανικής περιστροφής μπορεί να μειώσει το φαινόμενο αυτό για τα ζεύγη των ηλεκτρονίων. Ένα μοντέλο αυτού είναι να σκεφτούμε τα ηλεκτρόνια ως μικροσκοπικούς μαγνήτες που μπορούν να οργανωθούν αντι-παράλληλα (N-S και S-N), έτσι ώστε να έχουν μια μαγνητική έλξη για να αντιμετωπίσει την ηλεκτρική άπωση.)

4.3 Μοντελοποίηση των ειδών των χημικών δεσμών

Σε ένα βασικό επίπεδο, τα διάφορα είδη των δεσμών που συζητήθηκαν στη χημεία μπορούν όλα να κατανοηθούν λόγω των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών ειδών, που έλκουν το ένα το άλλο, μέχρι οι απώσεις μεταξύ όμοιων φορτίων να εξισορροπήσουν τις έλξεις μεταξύ αντίθετων φορτίων (Σχήμα 4.1). Υπάρχει συχνά μια καθαρή έλξη μεταξύ ουδέτερων ειδών όπως τα μόρια, για παράδειγμα, μέχρι να φτάσουν πολύ κοντά, όταν αυτή η έλξη εξισορροπηθεί από τις απωθήσεις. Αυτό είναι μια απαραίτητη προϋπόθεση για την ύλη όπως την ξέρουμε να υφίστανται - αλλιώς το Σύμπαν θα μπορούσε πιθανότατα είτε να έχει τη μορφή μη συμπυκνωμένης ύλης είτε θα μπορούσε να είναι ένα μεγάλο αστέρι νετρονίων!

Σχήμα 4.1:

Ένας τρόπος σκέψης σχετικά με τη δομή της ύλης σε υπομικροσκοπικά επίπεδα.



Ένα γλωσσικό ζήτημα που πρέπει να γνωρίζουμε είναι η χρήση των όρων δεσμός και σύνδεση. Η χημική σύνδεση εφαρμόζεται σε γενικά φαινόμενα, ενώ ο όρος δεσμός εφαρμόζεται σε μια συγκεκριμένη αλληλεπίδραση. Η ομοιοπολική σύνδεση, η οποία συνήθως εντοπίζεται (μεταξύ δύο ατομικών κέντρων) και έτσι μπορεί να θεωρηθεί

«κατευθυντήρια» (κατά μήκος του άξονα μεταξύ των δύο ατομικών κέντρων), θεωρείται συνήθως ότι περιλαμβάνει διακριτούς δεσμούς. Ομοίως, οι δεσμοί υδρογόνου μπορεί επίσης συνήθως να γίνουν κατανοητοί ως απλές αλληλεπιδράσεις που συχνά αναπαριστούνται από γραμμές που συνδέουν ειδικά ατομικά κέντρα. Σε ιοντικές δομές, υπάρχει μικρότερη συμφωνία σχετικά με το αν είναι σκόπιμο να σκεφτούμε κάθε αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών αντίθετα φορτισμένων ιόντων ως ένα διακριτό ιοντικό δεσμό – αν και αυτό λαμβάνεται ως λογικό σε αυτό το κεφάλαιο. Ωστόσο, η μεταλλική σύνδεση περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις κυρίως μεταξύ ατομικών καρδιών (κατιόντων) και εκτοπισμένων ηλεκτρονίων κινουμένων γύρω από τη δομή, όταν το συνολικό αποτέλεσμα είναι να συνδέσει τους ατομικές καρδιές σε ένα σφικτά συνδεδεμένο κανονικό πλέγμα. Μερικοί χημικοί θα διαφωνούσαν ότι δεν έχει νόημα να μιλάμε για μεταλλικούς δεσμούς μεταξύ των ατομικών καρδιών (αντί για μεταλλικό δεσμό που συγκρατεί ολόκληρο το πλέγμα μαζί), αλλά αυτό είναι ένα σημασιολογικό ζήτημα, καθώς αυτό είναι προβληματικό μόνο εάν οδηγεί σε παρερμηνείες των μοντέλων μας από τους μαθητές.

Τελικά η γλώσσα χρησιμοποιείται για την επικοινωνία, και αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι ως δάσκαλος να είστε ξεκάθαρος ότι αναφέρεστε σε ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ φορτίων που συγκρατούν τις δομές μαζί. Ο τύπος της σύνδεσης που συγκρατεί ξεχωριστά μόρια μαζί είναι συνήθως γνωστός ως δυνάμεις van der Waals, και εδώ συνήθως δεν μιλάμε για διακριτούς δεσμούς. Υπάρχει επίσης κάποια ασάφεια μεταξύ των χημικών και σε διάφορα εγχειρίδια για το αν ο όρος «χημική σύνδεση» θα έπρεπε ακόμη να εφαρμοστεί σε όλες ή μερικές μόνο από αυτές τις αλληλεπιδράσεις (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Διαφορετικοί τύποι δεσμικών αλληλεπιδράσεων.

Συνήθως δεκτό να είναι χημική σύνδεση	Δεν φαίνεται πάντα ως χημική σύνδεση
Ομοιοπολικός (συμπεριλαμβανομένου του δοτικού)	Διαμοριακές αλληλεπιδράσεις (τέτοιες όπως δυνάμεις van der Waals)
Υδρογόνου	Αλληλεπιδράσεις διαλύτη – διαλυμένης ουσίας
Ιοντικός	
Πολικός	
Μεταλλικός	

Μια τέτοια διάκριση γίνεται συνήθως με βάση την εξέταση εκείνων των αλληλεπιδράσεων που γενικά χαρακτηρίζονται ως δεσμοί καθώς είναι ισχυρότεροι από τους άλλους. Ωστόσο, αυτό δεν είναι μια σαφής διάκριση, όπως βλέπουμε όταν κάτι σαν το NaCl (με ισχυρή χημική σύνδεση) διαλύεται εύκολα στο νερό, όπου η ισχύς των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ιόντων και των πολικών μορίων νερού είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη διαλυτότητα του.

Ακόμα ο όρος «διαμοριακή» σύνδεση πρέπει να εφαρμόζεται προσεκτικά. Η σύνδεση υδρογόνου (συνήθως θεωρείται ότι είναι ένας χημικός δεσμός, αν και έχει αμφισβητηθεί ενίοτε η ιδιότητα αυτή) μπορεί να είναι ενδομοριακός (όντας πολύ σημαντικός για τον καθορισμό του σχήματος των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων, για παράδειγμα) ή διαμοριακός.

Ο δοτικός δεσμός θα μπορούσε επίσης να θεωρηθεί διαμοριακός, οπότε αν αέρια αμμωνία (NH₃) και υδροχλώριο (HCl) αναμειχθούν, σχηματίζουν ένα στερεό (NH₄Cl). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ένα «προϊόν προσθήκης», το όνομα που δίνεται είναι όταν δύο ήδη σταθερά μόρια είναι σε θέση να ενταχθούν σε ένα νέο μεγαλύτερο μόριο. (Με άλλα λόγια, το NH₄Cl μπορεί επίσης να γραφτεί ως NH₃.HCl.) Εάν το προϊόν εδώ, χλωριούχο αμμώνιο, θερμαίνεται ήπια τότε αποσυντίθεται θερμικά πάλι προς υδροχλώριο και αμμωνία.



Ο σχηματισμός του χλωριούχου αμμωνίου αποδεικνύεται εύκολα στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας ένα μακρύ γυάλινο σωλήνα με βαμβάκι και στα δύο άκρα. (Αυτή η επίδειξη έχει συζητηθεί διεξοδικότερα στο κεφάλαιο 2). Καθώς απαιτείται μικρή ποσότητα ενέργειας για την αποσύνθεση, υπάρχει μια τάση να δούμε τους δεσμούς που σχηματίστηκαν ως διαμοριακούς, και θεωρούμε ότι το προϊόν προσθήκης δεν είναι ένα πλήρως σταθερό μόριο. Είναι σαφές ότι τέτοιες περιπλοκές είναι άχρηστες κατά την εισαγωγή του θέματος της χημικής σύνδεσης στους μαθητές.

Είναι πιο λογικό να εξετάσουμε το σύνολο των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων οι οποίες συγκρατούν μόρια, πλέγματα και σύμπλοκα, όπως τα προϊόντα προσθήκης και τα διαλυμένα είδη ως τύπους της χημικής σύνδεσης, και να καταστήσουμε σαφές ότι ορισμένοι δεσμοί είναι πολύ ισχυρότεροι από ό,τι άλλοι, και έτσι πολύ περισσότερη ενέργεια πρέπει να μεταφερθεί για να διασπάσει τους ισχυρότερους δεσμούς.

Η έρευνα δείχνει ότι οι μαθητές έχουν μερικές φορές τελείως ιδιόρρυθμες ιδέες για το πώς και πότε να χρησιμοποιούν όρους όπως δεσμός, σύνδεση και έλξη. Μια

διαγνωστική εργασία («Αλληλεπιδράσεις») για να διερευνήσετε τις ιδέες των μαθητών γύρω από το θέμα αυτό μπορεί να κατεβάσετε από την ιστοσελίδα της Royal Society of Chemistry (τα πλήρη στοιχεία της οποίας παρατίθενται στο τμήμα «Άλλες πηγές» στο τέλος αυτού του κεφαλαίου). Αυτή η εργασία μπορεί να είναι πιο κατάλληλη ως μια εργασία επανάληψης που θα μπορούσε να δουλευτεί σε ζευγάρια ή μικρές ομάδες αφού έχει διδαχθεί το θέμα της χημικής σύνδεσης. Αυτό θα ήταν πιο κατάλληλο για τις τάξεις που θα επωφελούνταν από την πρόκληση και όπου οι μαθητές έχουν μάθει καλά τους βασικούς κανόνες για παραγωγική εργασία μέσω συζήτησης.

Μια συνιστώμενη ακολουθία διδασκαλίας

Οι μαθητές έχουν την τάση να βλέπουν όλα τα υλικά ως κατασκευασμένα από μόρια, και ιδίως να βλέπουν τις ιοντικές ενώσεις να περιέχουν διακριτά μόρια – σαν οντότητες. Η τάση αυτή ενθαρρύνεται κατά την εισαγωγή πρώτα του ομοιοπολικού δεσμού. Συνιστάται να παίρνετε τον μεταλλικό δεσμό ως σημείο εκκίνησης για να σκέπτεστε σχετικά με τον δεσμό, να προχωρήσετε στον ιοντικό και στη συνέχεια τον ομοιοπολικό δεσμό. Είναι σημαντικό να είναι σαφές ότι αυτό που διδάσκετε είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι χημικοί για να εξηγήσουν τις ιδιότητες των διαφόρων ουσιών. Αυτά τα «πρώτης τάξης» μοντέλα προσφέρουν μια μεγάλη επεξηγηματική ισχύ, αλλά δεν εξηγούν τα πάντα και δεν ταιριάζουν σε όλες τις περιπτώσεις.

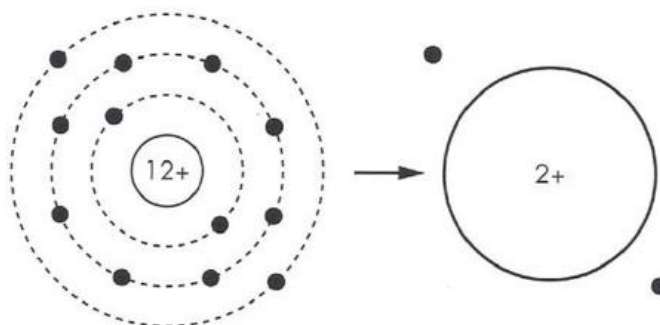
Μεταλλικά Πλέγματα

Τα μέταλλα είναι στοιχεία και η σχετικά απλή δομή τους προσφέρει ένα καλό μέρος για να ξεκινήσετε τη μοντελοποίηση του δεσμού. Στο απλούστερο επίπεδο, η δομή των μετάλλων μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια ομαλή διευθέτηση των ατομικών καρδιών, δηλαδή μεταλλικά κατιόντα, τα οποία – παρότι όλα έχουν ένα θετικό φορτίο – διατηρούνται στο πλέγμα στις θέσεις τους λόγω του μεγάλου αριθμού των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινούνται γύρω και μεταξύ τους, ενεργώντας ως ένα είδος «ηλεκτρικής κόλλας». Αυτό είναι, φυσικά, μια μεταφορά και θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Μπορείτε να κατεβάσετε μια διαγνωστική εργασία για τον εντοπισμό κοινών εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών που μπορεί να υπάρχουν σχετικά με τα

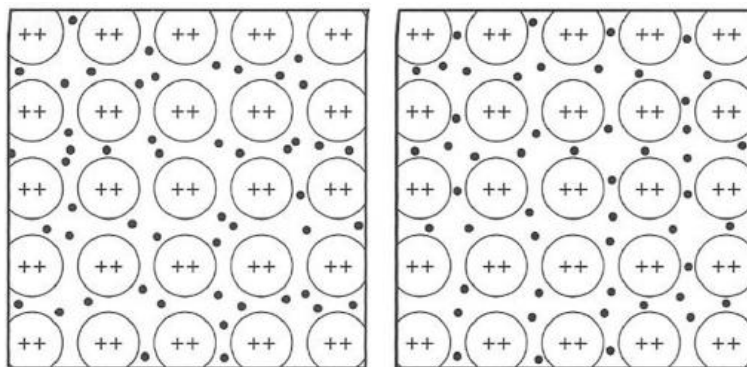
μέταλλα («Σίδηρος») από την ιστοσελίδα της Royal Society of Chemistry (περαιτέρω λεπτομέρειες δίνονται στο τμήμα «Άλλες πηγές» στο τέλος αυτού του κεφαλαίου).

Μια πολύ συχνή μεταφορά που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διευθέτηση αυτή είναι ότι τα ηλεκτρόνια σχηματίζουν μια «θάλασσα» στην οποία βυθίζονται τα κατιόντα. Ωστόσο, οι μαθητές χρησιμοποιώντας την ιδέα της «θάλασσας των ηλεκτρονίων», μερικές φορές το αντιλαμβάνονται ότι σημαίνει να υπάρχει ένα τεράστιο πλεόνασμα ηλεκτρονίων, ενώ η σταθερότητα του μεταλλικού πλέγματος εξαρτάται από τη συνολική ουδετερότητά του. Κατά τη διδασκαλία αυτού του μοντέλου, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ανά κατιόν είναι ίδιος με το μέγεθος του φορτίου της ατομικής καρδιάς, καθώς η συνολική ουδετερότητα του πλέγματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη σταθερότητά του. Έτσι, στο παράδειγμα του μαγνησίου (Σχήμα 4.2), η ηλεκτρονιακή διάταξη του ατόμου είναι 2.8.2, η οποία μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια θετικά φορτισμένη ατομική καρδιά συν δύο ηλεκτρόνια σθένους.

Σχήμα 4.2: Το άτομο του μαγνησίου ως μια ατομική καρδιά (κατιόν Mg^{2+}) συν δύο ηλεκτρόνια σθένους.



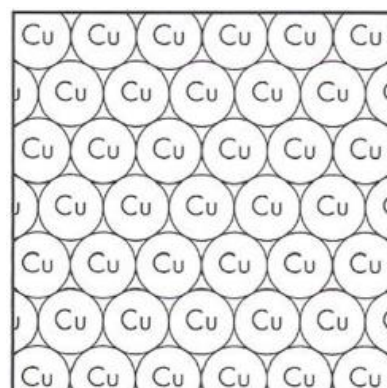
Το μεταλλικό πλέγμα αποτελείται από μια αχανή διάταξη αυτών των καρδιών, κατιόντα Mg^{2+} , με τα συνεταιρισμένα ηλεκτρόνια. Μπορούμε να σκεφτούμε τον σχηματισμό του πλέγματος όταν ένας μεγάλος αριθμός ατόμων μαγνησίου έρθει αρκετά κοντά μεταξύ τους για να επικαλυφθούν και να συγχωνευτούν οι εξωτερικές τους στοιβάδες, έτσι τα ηλεκτρόνια σε αυτά μπορούν να κυκλοφορούν σε όλη την διάταξη. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 4.3, όπου παρουσιάζεται μια φέτα τομής – με τις θέσεις του ηλεκτρονίου μετατοπισμένες από τη μια στιγμή στην επόμενη. Είναι επίσης χρήσιμο να χρησιμοποιήσετε τρισδιάστατα μοντέλα για να τονίσετε ότι η δομή δεν είναι διατεταγμένη σε δύο μόνο διαστάσεις.



Σχήμα 4.3: Η μεταλλική σύνδεση συγκρατεί μαζί στο πλέγμα μέταλλα όπως το μαγνήσιο. Ο δεσμός περιλαμβάνει την αμοιβαία έλξη μεταξύ των μεταλλικών ατομικών καρδιών και των εκτοπισμένων ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν γύρω από τη δομή.

Ένας απλός τρόπος για να ενισχυθεί η ηλεκτρική ουδετερότητα του μεταλλικού πλέγματος θα ήταν να παρουσιαστεί στους μαθητές με μια σειρά από εικόνες (παρόμοιες με αυτές στο Σχήμα 4.3) που απεικονίζουν πυρηνικά φορτία του +1, +2 και +3, κάποιες παρουσιάζουν μια ισορροπία φορτίου και μερικές με ουσιαστικά πολύ λίγα ή πάρα πολλά ηλεκτρόνια. Οι μαθητές θα μπορούσαν να κληθούν να εργαστούν σε ομάδες για να προσδιορίσουν ποια σχήματα αντιπροσωπεύουν αληθοφανείς δομές και να αιτιολογήσουν τις αποφάσεις τους. Αυτή η δραστηριότητα θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μαθητές με χαμηλότερη επίδοση.

Η απλή διάταξη στο σχήμα 4.4 απεικονίζει μια «κυβική» διευθέτηση κατιόντων. Αυτό είναι μόνο ένα μοντέλο. Αν και μερικές μεταλλικές δομές είναι κυβικές, οι περισσότερες βασίζονται σε κάθε ιόν σε ένα κομμάτι του πλέγματος που περιβάλλεται από έξι άλλα σε μια εξαγωνική διάταξη (Σχήμα 4.4), καθώς αυτό δίνει πραγματικά το καλύτερο στοίβαγμα («στενό» στοίβαγμα / “close packing”) όταν η επόμενη στρώση είναι αντισταθμιστική.



Σχήμα 4.4: Μια αναπαράσταση του στενού στοίβαγματος στο χαλκό.

Η μοντελοποίηση αυτού με σφαίρες (τέτοιες όπως γυάλινοι βόλοι ή μπάλες πολυστυρενίου) δείχνει ότι στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο κανονικοί τρόποι δημιουργίας τέτοιων στρωμάτων, ανάλογα με το αν το τρίτο στρώμα βρίσκεται ακριβώς πάνω από το πρώτο («ABAB») ή αντισταθμίζεται και από τα δύο πρώτα στρώματα («ABCABC»). Αυτό μπορεί να αποτελέσει τη βάση μιας απλής πρακτικής δραστηριότητας μοντελοποίησης για τους μαθητές για να οικοδομήσουν τα μοντέλα των δύο διαφορετικών διατάξεων, χρησιμοποιώντας κατάλληλες σφαίρες (όπως διογκωμένες μπάλες πολυστυρενίου ενός μεγέθους). Αν και μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης συνήθως δεν αναμένεται να ξέρουν για αυτές τις συγκεκριμένες δομές, η δραστηριότητα μοντελοποίησης παρέχει μια κατάλληλη ομάδα πρακτικών που μπορούν να ενισχύσουν τη διδασκαλία σχετικά με την κανονική φύση του μεταλλικού πλέγματος. Με μερικούς μαθητές, θα είναι κατάλληλες ακριβείς οδηγίες για την κατασκευή του μοντέλου, ενώ για άλλους η πρόκληση της παραγωγής δύο μη ταυτόσημων δομών με όλες τις σφαίρες κοντά πακεταρισμένες θα μπορούσε απλώς να είναι αντικείμενο συζήτησης.

Η φανερή ασάφεια μεταξύ των σχημάτων, όπως το σχήμα 4.3, το οποίο δείχνει απόσταση μεταξύ των ατομικών καρδιών για τα ηλεκτρόνια, και φυσικά μοντέλα που δείχνουν το στενό πακετάρισμα παρέχουν ένα σημαντικό σημείο της διδασκαλίας σχετικά με τη δυσκολία της μοντελοποίησης των σωματιδίων - άτομα και ιόντα δεν έχουν στην πραγματικότητα σαφώς καθορισμένες επιφάνειες ή όρια, αλλά αντιθέτως γίνονται πιο αδύναμα πιο μακριά από τον πυρήνα.

Ένας πιο προηγμένος τρόπος σκέψης, που συνήθως συναντάμε μόνο σε πανεπιστημιακό επίπεδο εξηγεί τη μεταλλική δομή ως ένα πιο σύνθετο τροχιακό μοντέλο, όπου ο μεταλλικός δεσμός σχηματίζεται από την επικάλυψη των ατομικών τροχιακών και το αποτέλεσμα είναι ένας τεράστιος αριθμός «μοριακών» τροχιακών ο οποίος θα έχει μια πολύπλοκη μορφή από γεωμετρικές μορφές. Ωστόσο, θα σχημάτιζαν επίσης ένα εικονικό συνεχές επίπεδο ενεργειών (η «ζώνη αγωγιμότητας»), έτσι μολονότι κάθε συγκεκριμένο μοριακό τροχιακό μπορεί να θέσει περιορισμούς στην κατοχή ηλεκτρονίων, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια είναι επαρκής για να κινούνται εύκολα τα ηλεκτρόνια στη ζώνη μεταξύ των τροχιακών.

Αν και αυτό είναι μια πιο σύνθετη εικόνα, και θα αντιμετωπιστεί μόνο από προχωρημένους μαθητές, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι η εισαγωγική διδασκαλία δεν θα ενεργήσει ως εμπόδιο για την μετέπειτα εξέλιξη για εκείνους τους μαθητές οι οποίοι συνεχίζουν με το αντικείμενο. Έτσι, στη διδασκαλία από την άποψη

της επικάλυψης των στοιβάδων, θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί για να τονίσουμε ότι αυτό είναι ένα μοντέλο, και κάπως απλουστευμένο, έτσι ώστε οι μαθητές οι οποίοι μπορούν να σπουδάσουν χημεία σε υψηλότερα επίπεδα δεν θα δεσμευτούν πολύ με τη συγκεκριμένη εικόνα. Με δεδομένο αυτόν τον όρο, το μοντέλο της επικάλυψης των στοιβάδων μπορεί να λειτουργήσει ως μια πολύ απλούστερη (εισαγωγική) «έκδοση» του μοριακού τροχιακού/μοντέλου ζώνης αγωγιμότητας, για να εξηγήσει τον εκτοπισμό των ηλεκτρονίων σθένους – τα ηλεκτρόνια «αγωγιμότητας», που είναι τόσο σημαντικά για τις ιδιότητες των μετάλλων.

Τα βασικά σημεία κατά την εισαγωγή μεταλλικού δεσμού είναι ότι τα κατιόντα σχηματίζουν ένα κανονικό μοτίβο και δεσμεύονται από την έλξη μεταξύ των θετικών κατιόντων και των αρνητικών ηλεκτρονίων. Όπως πάντα, τα διαγράμματά μας πρέπει να παρουσιάζονται στους μαθητές ως αναπαραστάσεις σχεδιασμένες να τονίσουν ορισμένα σημεία και όχι ως ρεαλιστικές εικόνες για το πώς πραγματικά είναι τα μέταλλα.

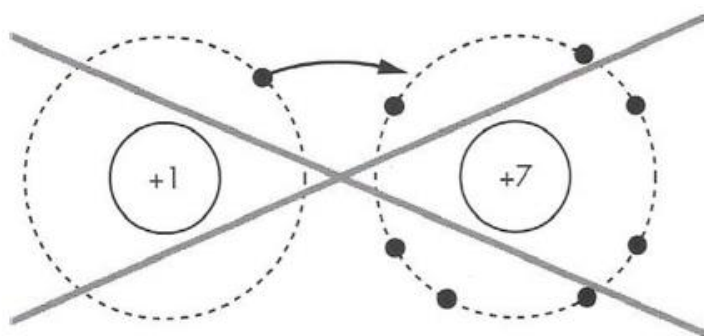
Ιοντικά Πλέγματα

Κάπως πιο περίπλοκη από ό,τι η περίπτωση του μεταλλικού δεσμού είναι εκείνη των ιοντικών ενώσεων. Η έρευνα μάς δείχνει ότι οι σπουδαστές παρανοούν πολύ συχνά τον ιοντικό δεσμό. Μπορείτε να κατεβάσετε μια διαγνωστική εργασία για να εντοπίσετε πού οι μαθητές κατέχουν κοινές εναλλακτικές αντιλήψεις για τον ιοντικό δεσμό από την ιστοσελίδα της Royal Society of Chemistry (τα πλήρη στοιχεία του οποίου παρατίθενται στο τμήμα «Άλλες πηγές» στο τέλος αυτού του κεφαλαίου).

Ο ιοντικός δεσμός συχνά διδάσκεται μέσω μιας σύμβασης, λαμβάνοντας υπόψη τα άτομα ενός ηλεκτροθετικού μετάλλου και ενός ηλεκτροαρνητικού αμετάλλου – συχνά χρησιμοποιούνται ως παράδειγμα το νάτριο και το χλώριο – και στη συνέχεια εξετάζοντας πώς θα μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν για να σχηματίσουν ιόντα, Na^+ και Cl^- , τα οποία στη συνέχεια συνδέονται μεταξύ τους (Σχήμα 4.5). Αυτό δεν αντικατοπτρίζει μια πιθανή χημική διαδικασία, αλλά είναι μόνο ένα είδος «πειραματικής σκέψης» στο πώς τα ιόντα θα μπορούσαν να σχηματιστούν από άτομα, στην απίθανη περίπτωση που τέτοια ασταθή είδη ως μεμονωμένα άτομα θα πρέπει να είναι τριγύρω για να συμβεί να αλληλεπιδράσουν. Ωστόσο, οι μαθητές συχνά πιστεύουν ότι ένα τέτοιο σύστημα είναι το πώς οι ιοντικοί δεσμοί σχηματίζονται στην

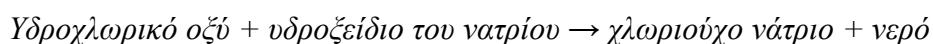
πραγματικότητα και – χειρότερα – μπορεί να πιστεύουν ότι η μεταφορά ηλεκτρονίων που απεικονίζεται σε τέτοια συστήματα «είναι» ο δεσμός!

Σχήμα 4.5: Μια κοινή παρανόηση του μαθητή για τον ιοντικό δεσμό.



Ωστόσο, δεν έχουμε παρά να μελετήσουμε πώς δημιουργούνται τα ιόντα για να εξηγήσουμε τον ιοντικό δεσμό. Πράγματι η παρουσίαση τέτοιων συστημάτων μόνο ενθαρρύνει τους μαθητές να σκεφτούν ότι όλες οι χημικές διεργασίες αρχίζουν με άτομα, παρά με τα πιο πιθανά αντιδρώντα. Στον φυσικό κόσμο υπάρχουν πολλά υλικά που περιέχουν ήδη ιόντα όπως Na^+ και Cl^- , αλλά ποτέ δεν βρίσκουμε ατομικό νάτριο ή χλώριο υπό φυσικές συνθήκες. (Πράγματι, υπάρχουν πολύ λίγα υλικά που περιέχουν διακριτά άτομα: δείγματα από τα ευγενή αέρια είναι οι προφανείς εξαιρέσεις). Στην περίπτωση του μεταλλικού δεσμού ήταν χρήσιμο να αρχίσουμε να σκεπτόμαστε σχετικά με άτομα, αλλά το να σκεπτόμαστε με όρους ατόμων στην εξήγηση του ιοντικού δεσμού είναι μια άχρηστη νοοτροπία.

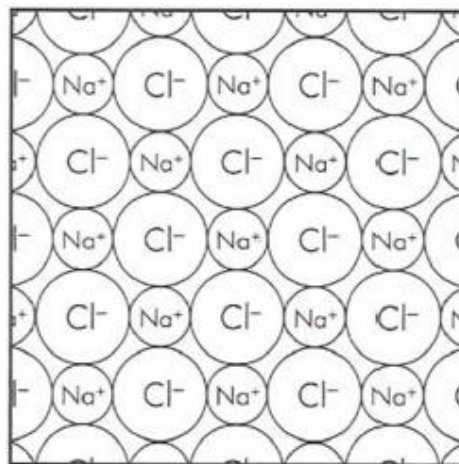
Κατά την εισαγωγή του ιοντικού δεσμού στους μαθητές, είναι πιο χρήσιμο να σκεπτόμαστε με όρους ενός πιο εφικτού χημικού πλαισίου, όπως από την άποψη των αντιδράσεων που οι μαθητές αναμένεται να είναι εξοικειωμένοι. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η εξουδετέρωση ενός οξέος και μιας βάσης, όπως:



Στην περίπτωση αυτή, τα αντιδραστήρια είναι διαλύματα που περιέχουν ιόντα και η πραγματική χημική αντίδραση είναι μεταξύ των ιόντων υδρογόνου και των ιόντων υδροξειδίου προς σχηματισμό νερού. Αυτό αφήνει τα ιόντα νατρίου και χλωρίου στο διάλυμα: $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ και $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$. Στερεό χλωριούχο νάτριο δεν σχηματίζεται επειδή τα ιόντα είναι πολύ έντονα ενυδατωμένα (είναι το καθένα συνδεδεμένο με ένα περίβλημα μορίων διαλύτη, το οποίο σχηματίζει ένα ειδικό συγκρότημα στο διάλυμα). Ωστόσο,

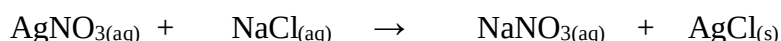
εάν ο διαλύτης, το νερό, εξατμιστεί (Κεφάλαιο 1), τότε αυτό αφήνει τα ιόντα, τα οποία οργανώνονται σε μια κανονική διάταξη κατιόντων και ανιόντων λόγω της αμοιβαίας έλξης μεταξύ αντίθετα φορτισμένων ιόντων (Σχήμα 4.6).

Σχήμα 4.6: Αναπαράσταση του πλέγματος τις ιοντικής ένωσης χλωριούχου νατρίου σε δύο διαστάσεις



Ένα εναλλακτικό πλαίσιο για την εισαγωγή του ιοντικού δεσμού θα ήταν μια αντίδραση δημιουργίας ιζήματος (βλέπε Κεφάλαιο 3), επειδή οι μαθητές μπορούν αμέσως να δουν τον σχηματισμό του ιοντικού προϊόντος. Έτσι αν διάλυμα νιτρικού αργύρου προστεθεί σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου, ο σχηματισμός του ιζήματος χλωριούχου αργύρου είναι άμεσος:

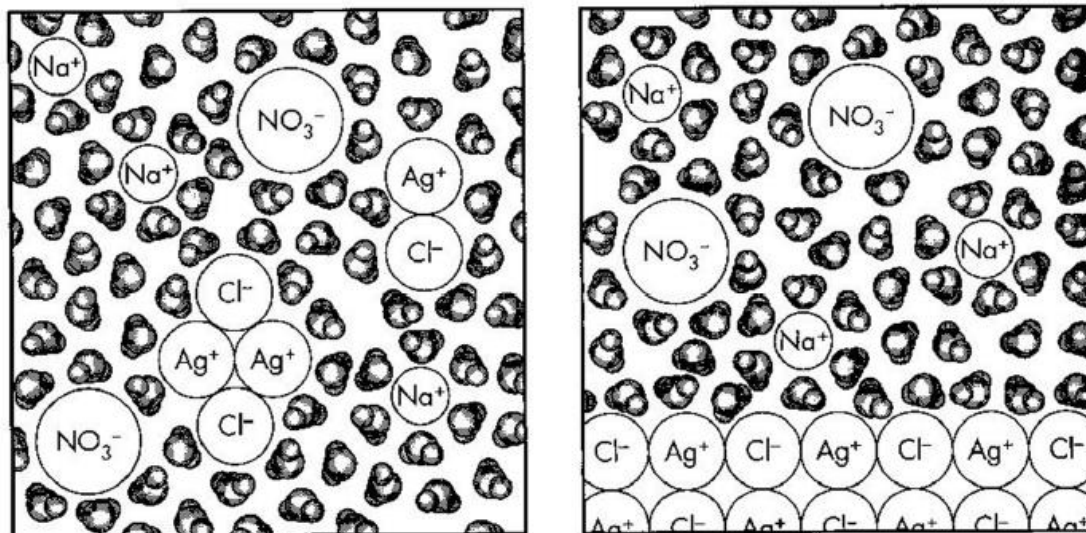
Νιτρικός άργυρος + χλωριούχο νάτριο → νιτρικό νάτριο + χλωριούχος άργυρος



Είναι σημαντικό να τονίσουμε στους μαθητές ότι παρόλο που ονομάζουμε τα αντιδρώντα διαλύματα «νιτρικό αργυρό» και «χλωριούχο νάτριο» (καθώς αυτά είναι διαλύματα αυτών των ενώσεων), οι διαλυμένες ουσίες δεν υπάρχουν ως ενιαίες ενώσεις στο διάλυμα, αλλά ως ιόντα που αναμειγνύονται εντός του διαλύτη. Ωστόσο, όταν τα δύο διαλύματα αναμειγνύονται έτσι ώστε το μείγμα που προκύπτει να περιέχει ιόντα αργύρου, νατρίου, χλωριούχου και νιτρικά ιόντα, η έλξη μεταξύ των ιόντων αργύρου και χλωριούχου είναι αρκετά ισχυρή ώστε όταν συγκρούονται στο μείγμα συνδέονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας τελικά μεγάλες συμπαγείς μάζες οι οποίες κατακάθονται από το διάλυμα για να δώσουν ένα στερεό «ίζημα» χλωριούχου αργύρου (σχήμα 4.7).

Σε αυτή τη διαδικασία σχηματίζεται ένα ιοντικό πλέγμα λόγω της έλξης μεταξύ των αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Στην ουσία, αυτός είναι ο δεσμός. Δεν υπάρχει καμία

ανάγκη να εξηγήσουμε πώς τα ιόντα προήλθαν - υπάρχουν σε υλικά που είναι διαθέσιμα στους χημικούς, σε ουσίες που αποκαλούμε άλατα (NaCl , NaBr , KCl , K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, κ.λπ.).



Σχήμα 4.7: Όταν αναμειχθούν διαλύματα νιτρικού αργύρου και χλωριούχου νατρίου, τα ιόντα αργύρου και χλωρίου συνδέονται σχηματίζοντας ένα στερεό, ένα ιοντικό πλέγμα.

Τα περισσότερα από τα υλικά στη Γη αποτελούν την παραγωγή των πυρηνικών διεργασιών που έλαβαν χώρα στα αστέρια, όπου η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ υψηλή για να υπάρχουν τα άτομα μεμονωμένα (και έτσι η ύλη είναι υπό μορφή πλάσματος, ένα είδος αερίου που περιλαμβάνει μεμονωμένους πυρήνες και ηλεκτρόνια). Έπειτα από όταν το υλικό αυτό εξερράγη στο διάστημα, στο τέλος του κύκλου «ζωής» του άστρου, ψύχθηκε και διαμορφώθηκε σε πιο σταθερούς συνδυασμούς των πυρήνων και των ηλεκτρονίων: μερικές φορές τα άτομα, αλλά συχνά τα ιόντα ή τα μόρια. Πολύ μικρή ποσότητα της ύλης που σχημάτισε τη Γη είναι σε μορφή διακριτών ατόμων. Ο σχηματισμός του ιοντικού πλέγματος λόγω του ιοντικού δεσμού δεν περιλαμβάνει καμιά μυστηριώδη «μεταφορά ηλεκτρονίων», και αν ο ιοντικός δεσμός διδαχθεί όπως προτείνεται εδώ, τότε δεν υπάρχει κανένας λόγος για τους μαθητές να σκέφτονται με αυτούς τους όρους.

Φυσικά ο σχηματισμός του χλωριούχου νατρίου με διμερή σύνθεση (βλέπε Κεφάλαιο 3) συνεπάγεται τον σχηματισμό των ιόντων χλωρίου (εύλογα τα ιόντα νατρίου είναι ήδη παρόντα στο μεταλλικό πλέγμα), αλλά από μόρια, όχι μεμονωμένα

άτομα. Οι μαθητές μπορούν να δουν αυτή την αντίδραση περιγραφικά, αλλά είναι απίθανο να την πραγματοποιήσουν (για λόγους ασφαλείας), και ούτε μεταλλικό νάτριο ούτε αέριο χλώριο είναι κοινά εργαστηριακά αντιδραστήρια. Ενώ η δυαδική πορεία σύνθεσης προσφέρει σίγουρα μια συναρπαστική επίδειξη μιας έντονης αντίδρασης, σχηματίζοντας χλωριούχο νάτριο με εξουδετέρωση ακολουθούμενη από εξάτμιση, είναι ένας πολύ πιο πρακτικός τρόπος της παραγωγής χλωριούχου νατρίου. Αυτό είναι σημαντικό διότι η έρευνα μάς λέει ότι οι μαθητές συχνά πιστεύουν ότι στο πλέγμα NaCl, για παράδειγμα, υπάρχουν μόρια NaCl, ή τουλάχιστον διακριτά ζεύγη ιόντων τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, λόγω του ότι οι μαθητές γνωρίζουν για τη μεταφορά ηλεκτρονίων. Έτσι, παρά τη συμμετρία του σχήματος 4.6, οι μαθητές συχνά ερμηνεύουν τέτοια σχήματα ως μια συλλογή μορίων NaCl που έχουν ιοντικούς δεσμούς στο εσωτερικό τους και στη συνέχεια έλκονται μεταξύ τους μόνο από τις δυνάμεις. Αυτό είναι ατυχές καθώς τέτοιες παρανοήσεις (α) δεν μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν γιατί το NaCl είναι σκληρό και έχει υψηλή θερμοκρασία τήξης και (β) συχνά τους οδηγεί να περιμένουν τα μόρια NaCl να είναι τα διαλυμένα είδη όταν παρασκευάζεται ένα διάλυμα. Αυτές όλες οι παρανοήσεις φαίνονται να προέρχονται από τη διδασκαλία του ιοντικού δεσμού μέσω φανταστικών συμβάντων μεταφοράς ηλεκτρονίων μεταξύ απομονωμένων ατόμων, τα οποία στην πραγματικότητα είναι αρκετά άσχετα με τη χημεία! Η ιδέα αυτή απευθύνεται τόσο πολύ σε μαθητές ώστε να εξηγούν μερικές φορές τις αντιδράσεις καταβύθισης, τέτοιες όπως παραπάνω το παράδειγμά μας με το AgCl, όσον αφορά:

- το ιόν αργύρου παίρνει το ηλεκτρόνιό του πίσω από το νιτρικό ιόν.
- το ιόν του χλωρίου δίνει το ηλεκτρόνιό του πίσω στο άτομο του νατρίου, έτσι ώστε ο άργυρος και το χλώριο μετατρέπονται πάλι σε άτομα.
- επιτρέπει το άτομο του αργύρου στη συνέχεια να δώσει ένα ηλεκτρόνιο στο άτομο του χλωρίου για να ξανασχηματίσουν τα ιόντα του αργύρου και του χλωρίου (που ήταν ήδη παρόντα, φυσικά) με ένα ιοντικό δεσμό μεταξύ τους.

Αυτή η ιδέα είναι στην πραγματικότητα πολύ πιο περίπλοκη από ό,τι το επιστημονικό μοντέλο των ιόντων αργύρου που προσκολλώνται σε ιόντα χλωρίου λόγω των αντίθετων φορτίων τους (Σχήμα 4.7) και δείχνει πόσο επίμονες μπορεί να είναι κάποιες παρανοήσεις, από τη στιγμή που έχουν τυπωθεί στη φαντασία του μαθητή. Μπορείτε να κατεβάσετε μια διαγνωστική εργασία για τον εντοπισμό κοινών εναλλακτικών αντιλήψεων που οι μαθητές μπορεί να έχουν σχετικά με το πώς οι δεσμοί

σχηματίζονται σε μία αντίδραση καταβύθισης («Αντίδραση προς σχηματισμό χλωριούχου αργύρου») από την ιστοσελίδα της Royal Society of Chemistry (πλήρη στοιχεία για τα οποία δίνονται στους «Άλλες πηγές» στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου).

Μια δραστηριότητα η οποία ζητά από τους μαθητές να εργαστούν σε ομάδες για να αξιολογήσουν δύο μοντέλα σχετικά με τον ιοντικό δεσμό περιλαμβάνεται σε μια δημοσίευση που διατίθεται από το SEP (το Επιστημονικό Πρόγραμμα Ενίσχυσης, πλήρεις λεπτομέρειες στο τμήμα «Άλλες πηγές»). Η δεύτερη από τις δύο ομαδικές εργασίες στη δραστηριότητα «Κρίνοντας μοντέλα στην επιστήμη» ζητά από τους μαθητές να εξετάσουν αν το επιστημονικό μοντέλο, ή ένα εναλλακτικό μοντέλο που απορρέει από τις κοινές αντιλήψεις των μαθητών, εξηγεί καλύτερα τις παρατηρούμενες ιδιότητες του NaCl. Η δραστηριότητα αυτή θα πρέπει να βοηθήσει τους μαθητές να εκτιμήσουν την υπεροχή του επιστημονικού μοντέλου.

Ομοιοπολικός δεσμός

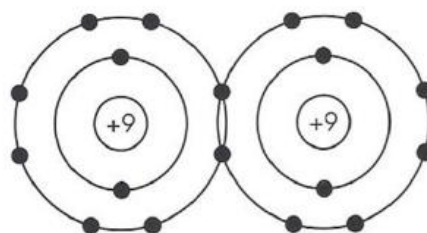
Ο ομοιοπολικός δεσμός τείνει να απαντάται μεταξύ μη μεταλλικών στοιχείων και συχνά περιγράφεται χρησιμοποιώντας την μεταφορική έννοια των «κοινών» ηλεκτρονίων. Ένας ομοιοπολικός δεσμός είναι κατανοητό να προκύπτει όταν οι στοιβάδες σθένους δύο ατόμων επικαλύπτονται έτσι ώστε το ένα (ή περισσότερα) ζεύγη ηλεκτρονίων να εμπίπτουν εντός των στοιβάδων σθένους και των δύο ατόμων. Σε πιο προχωρημένα επίπεδα αυτό περιγράφεται από την άποψη της αλληλεπίδρασης των ατομικών τροχιακών διαφορετικών ατόμων σχηματίζοντας μοριακά τροχιακά (και το ζεύγος των ηλεκτρονίων καταλαμβάνει τη χαμηλότερη ενέργεια «δεσμού» των μοριακών τροχιακών), αλλά σε ένα εισαγωγικό επίπεδο, τα άτομα συχνά απλώς αναπαριστώνται ως έχοντας επικαλυπτόμενες τις εξωτερικές στοιβάδες ηλεκτρονίων.

Μπορούμε να αναπαραστήσουμε τους ομοιοπολικούς δεσμούς με ποικίλους τρόπους, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση στους μαθητές. Έμπειροι χημικοί και δάσκαλοι βλέπουν ως παρελθόν αυτές τις διαφορές στον τυπικό φορμαλισμό, αλλά οι λόγοι για τους διαφορετικούς τρόπους σχεδίασης του ίδιου πράγματος μπορεί να φανούν αυθαίρετοι στους αρχαρίους. Πράγματι, όταν κοιτάζουμε μια σειρά μαθητικών βιβλίων δεν υπάρχει συχνά προφανής λόγος για τις προτιμώμενες μορφές

διαγραμμάτων που χρησιμοποιούνται.¹ Αυτές οι εικόνες αναπαριστούν «σωματίδια»- που είναι ασαφή και συχνά καλύτερα θεωρούνται ως φορτισμένα νέφη παρά ως μικροσκοπικές «μπάλες μπιλιάρδου» με καθορισμένες επιφάνειες. Αυτό μπορεί να μην είναι ό,τι προτείνουν οι κοινοί μας τύποι αναπαράστασης (για παράδειγμα, σχεδιάζοντας στοιβάδες ηλεκτρονίων μπορεί να δώσουμε την εντύπωση ότι αυτές είναι συμπαγείς δομές των στοιχείων των ατόμων), έτσι είναι στο χέρι του καθηγητή να τονίσει τους περιορισμούς των εικόνων οι οποίες είναι συχνά ένας συμβιβασμός μεταξύ του τι μπορούμε εύκολα να σχεδιάσουμε και τα συγκεκριμένα σημεία που θέλουμε να αναπαραστήσουμε σε συγκεκριμένες εικόνες.

Μερικά παραδείγματα για το πώς ομοιοπολικά συνδεδεμένα μόρια μπορούν να αναπαρασταθούν απεικονίζονται εδώ. Το σχήμα 4.8 δείχνει ένα μόριο φθορίου όπου ο ομοιοπολικός δεσμός παριστάνεται ως ζεύγος ηλεκτρονίων όπου οι εξωτερικές στοιβάδες επικαλύπτονται.

Σχήμα 4.8 Μια πιθανή αναπαράσταση ενός μορίου φθορίου (F_2).



Σχήμα 4.9 Μια πιθανή αναπαράσταση ενός μορίου χλωρίου (Cl_2).



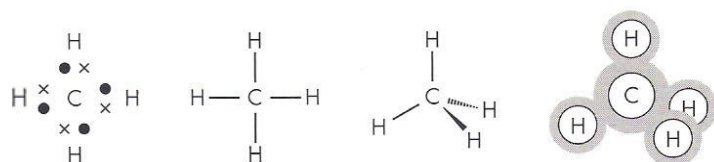
Στο Σχήμα 4.9, ένα μόριο χλωρίου αναπαρίσταται με εναλλακτικό τρόπο, δείχνοντας μόνο τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας σθένους, ενώ το δεσμικό ζεύγος ηλεκτρονίων δείχνεται μέσα στα επικαλυπτόμενα άτομα. Δεν είναι λογικό να ρωτήσω ποια από αυτές τις εικόνες είναι μια πιο ακριβής αναπαράσταση ενός μορίου (το οποίο στην πραγματικότητα είναι φυσικά πολύ μικρό για να είναι ορατό, τρισδιάστατο, με τα ηλεκτρόνια σε κίνηση) από μόνο του, αλλά μάλλον είναι σημαντικό να εξηγήσουμε

¹ ΠΑΡΕΝΘΕΣΗ ΣΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ Taber [ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΑΥΤΟ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΠΡΩΤΟΕΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΧΗΜΕΙΑΣ ΣΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑ Δ.1 σε έρευνα που ζητούσε από πρωτοετείς φοιτητές χημείας να σχεδιάσουν όσες οπτικές αναπαραστάσεις (ΟΑ) ήξεραν για το μόριο του υδρογόνου (H_2) και το μόριο του νερού (H_2O). (Tsapalis, Pantazi, Pappa, & Byers 2021)].

στους μαθητές ποια χαρακτηριστικά βρίσκονται στο προσκήνιο σε διάφορους τύπους αναπαράστασης. Από την άποψη του ομοιοπολικού δεσμού, το ουσιώδες χαρακτηριστικό είναι ότι το ζεύγος των ηλεκτρονίων είναι ηλεκτρικά ελκτικό προς, και από, τους θετικούς πυρήνες και έτσι δρα ως ένας δεσμός.

Το σχήμα 4.10 δείχνει κάποιους εναλλακτικούς τρόπους αναπαράστασης του μορίου του μεθανίου (CH_4). Ο πρώτος από αυτούς χρησιμοποιεί ένα στυλ «κουκίδα και σταυρός» (“dot-and-cross” style) που δείχνει τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας σθένους. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για τους μαθητές στην «τήρηση λογαριασμού» των ηλεκτρονίων, δείχνοντας τα ηλεκτρόνια από διαφορετικά άτομα με ένα διαφορετικό στυλ. Ωστόσο, στο μόριο, δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των ηλεκτρονίων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ηλεκτρονίων και των θετικών πυρήνων και είναι εντελώς ανεξάρτητο το από πού προέρχονται τα ηλεκτρόνια. Αυτό θα πρέπει να τονιστεί, καθώς κάποιοι μαθητές υποθέτουν ότι κάθε ηλεκτρόνιο στον δεσμό έλκεται περισσότερο ισχυρά από το «δικό» του άτομο και ότι στη διάσπαση δεσμού, τα ηλεκτρόνια θα πάνε πάντα πίσω στα άτομα από τα οποία προήλθαν (το οποίο θα παρεμβαίνει σε μεταγενέστερη μάθηση για ετερολυτική σχάση δεσμού).

Οι μαθητές θα πρέπει να αποτρέπονται από το να σκέπτονται με όρους «ιδιοκτησίας» και «ιστορίας» των ηλεκτρονίων, να σκέπτονται απλώς με όρους ηλεκτρικών δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των διαφόρων παρόντων φορτίων.



Σχήμα 4.10: Μερικές αναπαραστάσεις του μορίου του μεθανίου (CH_4).

Η δεύτερη παράσταση στο σχήμα 4.10 δείχνει απλώς τους δεσμούς σαν γραμμές που συνδέουν τα μέρη του μορίου μαζί. Αυτή είναι μια εύκολη αναπαράσταση για να σχεδιαστεί (το οποίο μπορεί να είναι σημαντικό με πιο πολύπλοκα μόρια), αλλά είναι πιθανώς καλύτερο να χρησιμοποιείται μόνο όταν οι μαθητές είναι ικανοποιημένοι με την ιδέα ότι ο δεσμός είναι η ηλεκτρική αλληλεπίδραση λόγω των ηλεκτρονίων που βρίσκονται μεταξύ των διαφορετικών ατομικών πυρήνων. Η τρίτη αναπαράσταση δείχνει ότι η μοριακή δομή δεν είναι επίπεδη, αλλά καταλαμβάνει μια τρισδιάστατη διάταξη (τετραεδρική σε αυτή την περίπτωση, λόγω της αμοιβαίας απώθησης των

ζευγών ηλεκτρονίων στους δεσμούς). Η τελική εικόνα αντικαθιστά την αναπαράσταση διακριτών δεσμών με μια αναπαράσταση των «νεφών» της ηλεκτρονιακής πυκνότητας γύρω από τις ατομικές καρδιές – με άλλα λόγια, πώς μπορούμε να φανταστούμε μια χρονικά μέση εικόνα, του πού μπορούν να βρεθούν τα ηλεκτρόνια. (Από την προοπτική της κβαντομηχανικής, η δομή των μορίων περιγράφεται καλύτερα από την άποψη της πιθανότητας εύρεσης των ηλεκτρονίων σε συγκεκριμένες θέσεις, αλλά είναι χρήσιμο να σκεφτούμε αυτό, καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται τριγύρω και εξουδετερώνουν έτσι την πυκνότητα φορτίου τους). Μια πιο εκλεπτυσμένη εκδοχή θα μπορούσε να δείξει τις διακυμάνσεις στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα – περισσότερο σαν οριακές καμπύλες.

Όπως έχω προτείνει σε όλο το κεφάλαιο, δεν είναι χρήσιμο να μιλήσουμε για το ποια από τις διάφορες πιθανές αναπαραστάσεις είναι «καλύτερη». Οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι τα μόρια και άλλα σωματίδια δεν είναι εύκολο να σχεδιαστούν και ότι οι επιστήμονες θα τα μοντελοποιήσουν μέσα από αναπαραστάσεις που τονίζουν ιδιαίτερα σχετικά χαρακτηριστικά. Υπάρχει ένα βασικό ζήτημα εδώ για τους εκπαιδευτικούς, καθώς συνήθως έχει νόημα να υιοθετήσουν συγκεκριμένες συμβάσεις στη διδασκαλία και στη συνέχεια, να τις χρησιμοποιήσουν με συνέπεια για να περιορίσουν τη μαθησιακή απαίτηση για τους μαθητές. Ακόμη το εύρος των σχημάτων που οι μαθητές βλέπουν σε βιβλία και στο διαδίκτυο, θα είναι ποικίλα και στηριγμένα πάνω σε έναν τύπο αναπαράστασης που μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές να αντιμετωπίσουν αυτή τη μορφή ως μια ρεαλιστική εικόνα για το πώς είναι πραγματικά τα μόρια. Ένας λογικός συμβιβασμός φαίνεται να είναι κατά σειρά ο παρακάτω: αρχικά χρησιμοποιώντας έναν προτιμώμενο τύπο να αναπαριστούμε μόρια, αλλά αργότερα (όταν οι μαθητές συνηθίσουν να βλέπουν και να σχεδιάζουν εικόνες των μορίων) να εισάγουμε παραλλαγές όπου οι συνθήκες κάνουν άλλους τύπους χρήσιμους να κατασκευάζουν ιδιαίτερα σημεία διδασκαλίας (για παράδειγμα για το μοριακό σχήμα ή για την παρουσία διπλών δεσμών).

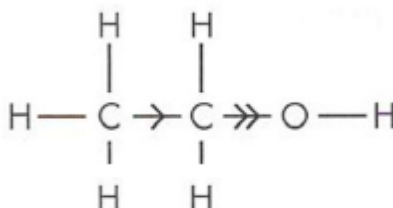
Πολικότητα δεσμού

Σε ένα εισαγωγικό επίπεδο, στους μαθητές τείνει να δίνεται η εντύπωση ότι ο δεσμός σε ενώσεις είναι ομοιοπολικός ή ιοντικός, σαν να πρόκειται για μια διχοτομία:

Ομοιοπολικός δεσμός	Ιοντικός δεσμός
Σε μη μεταλλικά στοιχεία και ενώσεις των αμετάλλων	Σε ενώσεις των μετάλλων με αμέταλλα

Οι μαθητές συχνά βλέπουν αυτούς τους δύο τύπους δεσμών ως θεμελιωδώς πολύ διαφορετικούς, γεγονός που καθιστά δύσκολο για αυτούς να εκτιμήσουν αργότερα πόσο λίγοι δεσμοί είναι «καθαρά» ομοιοπολικοί και μάλιστα κανένας δεσμός δεν είναι «καθαρά» ιοντικός.

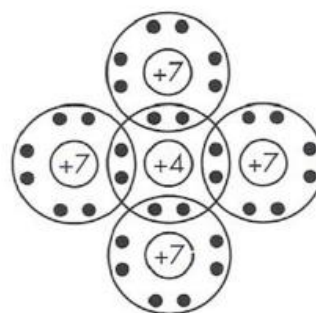
Ο ιοντικός δεσμός, όπως αναπαριστάνεται στα εισαγωγικά κείμενα χημείας είναι ιδεατός και οι περισσότερες ενώσεις που θεωρούνται ως ιοντικές είναι, στην πραγματικότητα κατά κάποιο τρόπο, σαν να έχουν πλήρως ιοντικό χαρακτήρα. (Στη μετα-δευτεροβάθμια εκπαίδευση, οι προχωρημένοι μαθητές θα μάθουν πώς οι πίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί το ποσοστό του ιοντικού και του ομοιοπολικού χαρακτήρα, ανάλογα με τη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των στοιχείων). Πλήρως ομοιοπολικοί δεσμοί υπάρχουν συνήθως μόνο μεταξύ των ατόμων από τα ίδια στοιχεία, και αυστηρά τότε μόνο όπου εκείνα τα άτομα δεν είναι συνδεδεμένα με πολύ διαφορετικά άτομα. Έτσι ο δεσμός C-C στην αιθανόλη δεν είναι καθαρά ομοιοπολικός, καθώς ένα από τα άτομα άνθρακα είναι συνδεδεμένο με ένα ηλεκτροαρνητικό άτομο οξυγόνου, το οποίο θα επηρεάσει τον δεσμό άνθρακα-άνθρακα μέσω ενός «επαγωγικού» φαινομένου, στρεβλώνοντας τη γεωμετρία της ηλεκτρονιακής πυκνότητας στο δεσμό άνθρακα-άνθρακα (Σχήμα 4.11).



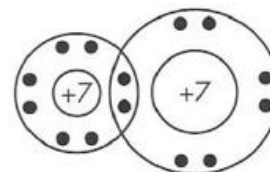
Σχήμα 4.11: Ο δεσμός C-C στην αιθανόλη δεν είναι ένας ‘καθαρά’ ομοιοπολικός δεσμός, επειδή το άτομο του οξυγόνου (φορτίο καρδιάς +6) έλκει ηλεκτρονιακή πυκνότητα και έμμεσα στρεβλώνει το δεσμό.

Τα ζητήματα αυτά αγνοούνται σε εισαγωγικές αντιμετωπίσεις, αλλά ορισμένες επιλογές για την αναπαράσταση των μορίων προσφέρουν μια καλύτερη αφετηρία για την μετέπειτα εξέλιξη στον τρόπο σκέψης των μαθητών. Έτσι, το σχήμα 4.12 δείχνει μια αναπαράσταση ενός μορίου τετραφθορομεθανίου (CF_4), δείχνοντας το πυρηνικό φορτίο και τα ηλεκτρόνια σθένους. Αν οι μαθητές διδάσκονται τον δεσμό ως μια ηλεκτρική αλληλεπίδραση, είναι σαφές ότι (χωρίς να αλλάζει κάτι άλλο) τα ζεύγη ηλεκτρονίων στον δεσμό θα τραβηχτούν πιο κοντά στο φορτίο +7 (ατομική καρδιά φθορίου) σε σχέση με το φορτίο +4 (ατομική καρδιά άνθρακα). Έτσι, ο δεσμός εδώ θα είναι πολικός παρά καθαρά ομοιοπολικός.

Σχήμα 4.12: Μια απλή αναπαράσταση του μορίου του τετραφθορομεθανίου (CF_4).



Σχήμα 4.13: Μια αναπαράσταση του μορίου του Cl-F .



Το σχήμα 4.13 δείχνει μια αναπαράσταση μιας ένωσης αλογόνων, ClF , χρησιμοποιώντας την ίδια μορφή. Εδώ και τα δύο άτομα αλογόνου έχουν το ίδιο φορτίο καρδιάς, +7, αλλά λόγω της διαφοράς στο μέγεθος των δύο καρδιών (για το φθόριο, πυρήνας +9 και μια στοιβάδα των δύο ηλεκτρονίων. Για το χλώριο, πυρήνας + 17 και δύο εσωτερικές στοιβάδες, 2, 8), η θέση ισορροπίας για το δεσμικό ζεύγος ηλεκτρονίων είναι πιο κοντά στον πυρήνα του φθορίου. Έτσι πάλι, αυτό είναι ένας πολικός δεσμός. Στη μετα-δευτεροβάθμια εκπαίδευση, υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να δείχνουν την πολικότητα του δεσμού (όπως η θέση ηλεκτρονίου ή η χρήση των συμβόλων δ^+ και δ^- για να υποδείξει «μερικά» φορτία στα ατομικά κέντρα κ.λπ.). Ενώ τέτοιες λεπτομέρειες δεν είναι απαραίτητες σε εισαγωγικές αντιμετωπίσεις, είναι σημαντικό να διδάξουμε τη σύνδεση ως κατά κύριο λόγο μια ηλεκτρική αλληλεπίδραση, να βοηθήσουμε τους μαθητές αργότερα να εκτιμήσουν ότι οι ιοντικοί και ομοιοπολικοί δεσμοί μπορεί να

γίνουν κατανοητοί ως τα δύο άκρα σε ένα συνεχές, και όχι μια απλή διχοτόμηση όπου όλοι οι δεσμοί στις ενώσεις ταιριάζουν εύκολα στη μία ή στην άλλη κατηγορία. Ο βαθμός στον οποίο ένας δεσμός θα είναι πολικός εξαρτάται από την διαφορά στην ηλεκτραρνητικότητα μεταξύ των εμπλεκόμενων στοιχείων:

Καθόλου διαφορά ηλεκτραρνητικότητας Μεγάλη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας

Ομοιοπολικός..... Πολικός Ιοντικός

Άλλοι τύποι δεσμού

Στη δευτεροβάθμια χημεία είναι σύνηθες να περιορίζουμε ξεκάθαρα την συζήτηση του δεσμού στις περιπτώσεις του μεταλλικού, του ιοντικού και του ομοιοπολικού δεσμού. Ωστόσο, οι μαθητές θα έχουν συναντήσει την ιδέα ότι οι ουσίες σε στερεά κατάσταση συγκρατούνται μεταξύ τους με κάποια μορφή ελκτικής δύναμης ή δεσμού όταν μαθαίνουν για το βασικό μοντέλο των σωματιδίων της ύλης (κεφάλαιο 2) και έτσι είναι πιθανό να υποθέσουν ότι αυτός ο δεσμός θα είναι ιοντικός σε ιοντικά συστατικά, μεταλλικός στα μέταλλα και ομοιοπολικός σε υλικό με ομοιοπολικούς δεσμούς. Η τελευταία παραδοχή θα ήταν σωστή σε άνθρακα, πυρίτιο και άλλες ουσίες με γιγαντιαία ομοιοπολικά πλέγματα. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά υλικά με διακριτά ομοιοπολικά μόρια, τα οποία υπάρχουν σε στερεά κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου λόγω των ασθενέστερων αλληλεπιδράσεων μεταξύ μορίων. Για παράδειγμα, κεριά και πολυαιθυλένιο (πολυαιθένιο) περιέχουν και τα δύο μόρια που έχουν ομοιοπολικό ενδομοριακό δεσμό, αλλά έλκονται μεταξύ τους με έναν ασθενέστερο τύπο (διαμοριακού) δεσμού.

Το σχήμα 4.14 δείχνει τα μόρια στο θείο (S_8), που είναι σε στερεά κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου και μπορεί να τηχθεί με θέρμανση σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα σε μια φλόγα Bunsen. (Προσέξτε αν αυτό επιδεικνύεται – μερική ποσότητα θείου μπορεί να καεί, οδηγώντας σε απελευθέρωση επιβλαβών ατμών). Το θείο περιλαμβάνει μόρια με τη μορφή δακτυλίων από οκτώ ατομικά κέντρα, με κάθε ατομική καρδιά να συνδέεται με δύο γείτονες με ένα ομοιοπολικό δεσμό. Ωστόσο, το θείο υπάρχει σε στερεά κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου επειδή τα μόρια έλκονται μεταξύ τους (και πράγματι ταιριάζουν μεταξύ τους για να δώσουν μια κρυσταλλική δομή). Αυτό

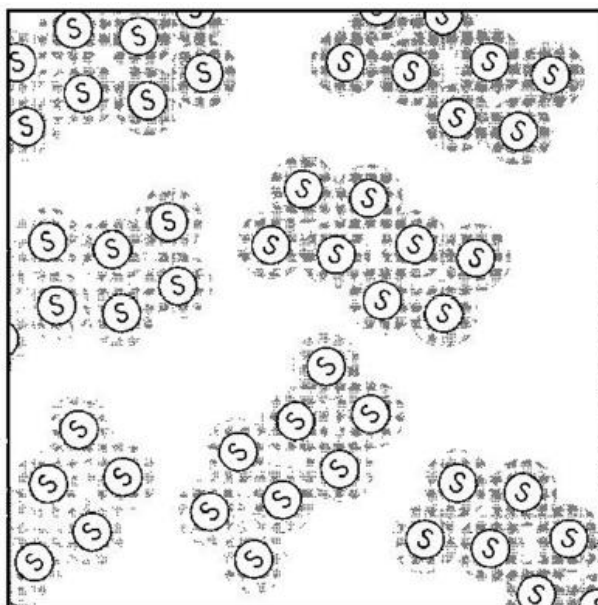
συμβαίνει παρόλο που δεν υπάρχει κάποιο ηλεκτρόνιο «να μοιράζεται» μεταξύ των μορίων ή δεν υπάρχουν καθόλου ιόντα. Αυτό κανονικά εξηγείται σε σχέση με τις κινήσεις του ηλεκτρονίου σε γειτονικά μόρια που συγχρονίζονται για να δώσουν «παροδικά ταλαντευόμενα δίπολα» που επιτρέπουν σε προσωρινές περιοχές υψηλότερης ηλεκτρονιακής πυκνότητας (συνολικά αρνητικό φορτίο) σε ένα μόριο να έλκει και να έλκεται από προσωρινές περιοχές χαμηλότερης ηλεκτρονιακής πυκνότητας (συνολικά θετικό φορτίο) σε ένα γειτονικό μόριο.

Αυτό είναι δύσκολο να το φανταστούμε και δεν συζητιέται συνήθως με τους μαθητές στην εισαγωγική χημεία. Ωστόσο, είναι σημαντικό ότι οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι ουδέτερα μόρια θα έλκονται μεταξύ τους (Κεφάλαιο 2), λόγω των φορτίων που είναι παρόντα, ακόμα και αν δεν προσφέρονται λεπτομέρειες. Αυτό θα βοηθήσει να αποφύγετε τις κοινές παρανοήσεις όπως τα λεγόμενα «μοριακά στερεά» που έχουν παντού ομοιοπολικούς δεσμούς, και το πόρισμα ότι, καθώς πολλές από αυτές τις ουσίες λιώνουν εύκολα όταν είναι σε στερεά κατάσταση, οι ομοιοπολικοί δεσμοί είναι συχνά αρκετά αδύναμοι.

Οι μαθητές πρέπει να εκτιμήσουν ότι οι επιδράσεις του δεσμού γενικά εξηγούνται με όρους των αλληλεπιδράσεων μεταξύ φορτίων (και μπορεί να αξίζει να σημειωθεί ότι οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του θείου μαζί δεν μπορούν να εξηγηθούν από την άποψη του σχηματισμού οκτάδων ή συμπληρωμένων στοιβάδων). Το σχήμα 4.15 αναπτύσσει αυτή την αρχή (συνοψίζεται ωρίτερα στο Σχήμα 4.1), δείχνοντας πώς διαφορετικές χημικές δομές δημιουργήθηκαν από διαφορετικές απεικονίσεις των ατομικών καρδιών και των ηλεκτρονίων σθένους.

Παρόλο που δεν είναι λογικό να παρουσιάσετε ένα τέτοιο σχέδιο που πρέπει να μαθευτεί από τους μαθητές από την πρώτη συνάντηση για τις ιδέες σχετικά με τους δεσμούς, αυτό μπορεί να ενημερώσει με χρήσιμα στοιχεία τη διδασκαλία. Διδάσκοντας ότι είναι συνεπές με αυτό τον τρόπο σκέψης είναι πιο πιθανό να βοηθήσετε τους μαθητές να εκτιμήσουν τις αρχές που είναι κοινές σε διάφορα είδη δεσμού, και θα υποστηρίξετε καλύτερα την πρόοδο για όσους συνεχίζουν σε πιο προχωρημένη μελέτη.

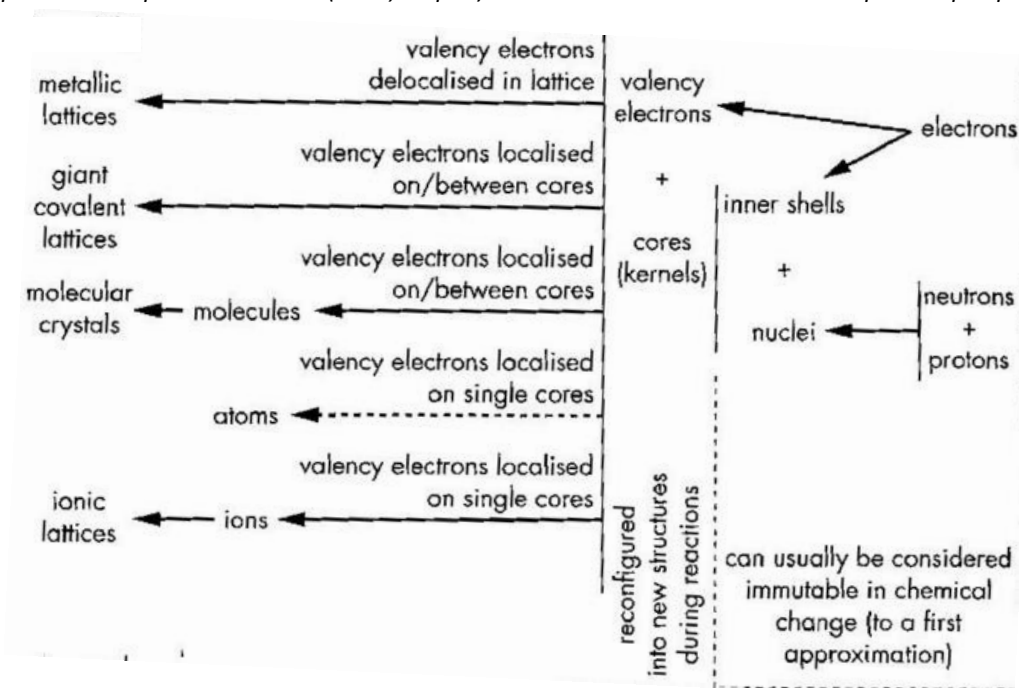
Σχήμα 4.14: Μόρια στο θείο



Οι τύποι των αλληλεπιδράσεων που βρέθηκαν σε ουσίες τέτοιες όπως κερι, πολυαιθυλένιο και θείο, συχνά ονομάζονται δυνάμεις van der Waals, δεν είναι οι μόνοι σημαντικοί τύποι δεσμού πέρα από τον μεταλλικό, τον ιοντικό και ομοιοπολικό δεσμό. Οι αλληλεπιδράσεις διαλύτη-διαλυμένης ουσίας μπορεί να οφείλονται σε παροδικά δίπολα, αλλά μπορεί επίσης συχνά να περιλαμβάνουν μόνιμη (και όχι μόνο παροδική) πολικότητα στα μόρια. Αυτός είναι ο λόγος γιατί το νερό είναι ένας καλός διαλύτης για τα ιοντικά υλικά.

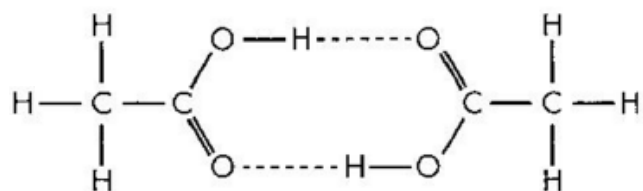
Κύριοι τύποι δομών των ουσιών (όπως στερεά)

Θεμελιώδη σωματίδια



Σχήμα 4.15 Οι μακροσκοπικές δομές αντικατοπτρίζουν τους διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης ατομικών καρδιών μαζί με ηλεκτρόνια σθένους.

Ένα σημαντικό παράδειγμα μιας αλληλεπίδρασης λόγω πολικότητας δεσμού είναι ο δεσμός υδρογόνου, ο οποίος είναι πολύ σημαντικός για τις ιδιότητες του νερού, των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων. Δυστυχώς, οι μαθητές μερικές φορές συναντάνε τον δεσμό υδρογόνου να εξετάζεται στα μαθήματα βιολογίας (όπου η φύση του δεσμού δεν μπορεί να εξηγηθεί) προτού να έχει εισαχθεί στη χημεία, αφήνοντάς τους να συμπεράνουν αυτό που αναφέρεται. (Μια κοινή εικασία σε αυτή την κατάσταση φαίνεται να είναι ότι είναι απλώς ένας ομοιοπολικός δεσμός που περιλαμβάνει ένα άτομο υδρογόνου. Έτσι για παράδειγμα, οι δεσμοί στο μεθάνιο θα ονομαστούν στη συνέχεια δεσμοί υδρογόνου). Οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται ανάμεσα σε ηλεκτροαρνητικά άτομα (συνήθως O, F, N, μερικές φορές S, Cl, τα οποία όλα έχουν ένα ή περισσότερα ζεύγη από μη δεσμικά ηλεκτρόνια εξωτερικής στοιβάδας, τα λεγόμενα «μονήρη ζεύγη») και άτομα υδρογόνου που έχουν πολικούς δεσμούς προς άλλα ηλεκτροαρνητικά άτομα. Το σχήμα 4.16 δείχνει τον δεσμό υδρογόνου μεταξύ δύο μορίων (ένα διμερές) του αιθανοϊκού οξέος (όπως βρίσκεται στην «κρυσταλλική κατάσταση», δηλαδή στερεό, αιθανοϊκό οξύ).



Σχήμα 4.16: Δεσμός υδρογόνου στο αιθανοϊκό οξύ

Οι δεσμοί υδρογόνου μπορεί να είναι αρκετά ισχυροί ως διαμοριακοί δεσμοί. (Καθώς ένα άτομο υδρογόνου συνδεδεμένο με ένα ηλεκτροαρνητικό άτομο είναι ένα θετικά φορτισμένο πρωτόνιο, το οποίο έχει πολύ περιορισμένη ηλεκτρονιακή πυκνότητα καλύπτοντας το δικό του «πίσω μέρος» και έτσι είναι εύκολα προσελκυσίμο από/προς «μονήρη ζεύγη» ηλεκτρονίων άλλων ατόμων). Ερευνώντας τη φύση του δεσμού υδρογόνου θα μπορούσε να είναι μια χρήσιμη δραστηριότητα επέκτασης για περισσότερο ικανούς («ταλαντούχους») μαθητές σε μια τάξη μεικτής ικανότητας. Για παράδειγμα, οι δεσμοί υδρογόνου έχουν μια συγκεκριμένη γεωμετρία (ο δεσμός

υδρογόνου είναι περίπου αντίθετος από τον πολικό δεσμό), ενώ οι περισσότεροι διαμοριακοί δεσμοί είναι μη-κατευθυντικοί: κάτι που θα μπορούσε να ακολουθηθεί από ένα χαρισματικό μαθητή με τη διερεύνηση τροχιακών μοντέλων του δεσμού. Σε μια μικρή ομάδα των πιο ικανών μαθητών θα μπορούσε να ανατεθεί η εργασία της οικοδόμησης ενός μοντέλου της δομής του πάγου (ή ακόμη μέρους ενός μορίου νουκλεϊκού οξέος), δείχνοντας τη σπουδαιότητα των διαμοριακών δεσμών στην κρυσταλλική δομή.

4.4 Συσχετίζοντας το είδος του δεσμού με τις μεταβολές στη χημεία

Μερικές φορές οι πιο αδύναμοι τύποι αλληλεπίδρασης, όπως οι δυνάμεις van der Waals, οι αλληλεπιδράσεις διαλύτη-διαλυμένης ουσίας και ακόμη ο δεσμός υδρογόνου, θεωρούνται όχι πραγματικά τόσο ως χημικοί δεσμοί (βλέπε πίνακα 4.2, παραπάνω). Ωστόσο, δεδομένου ότι η ισχύς των περισσότερων τύπων αλληλεπιδράσεων ποικίλει σημαντικά, είναι πιο λογικό να σκεφτούμε ότι υπάρχει μια διακύμανση διαφορετικών τύπων δεσμού, μερικοί από τους οποίους είναι συνήθως ισχυρότεροι και μερικοί από τους οποίους τείνουν να είναι ασθενέστεροι. Έτσι το θείο, που συγκρατείται με δυνάμεις van der Waals, έχει υψηλότερη θερμοκρασία τήξης από τον υδράργυρο, αν και ο τελευταίος έχει μεταλλικό δεσμό.

Τήξη και βρασμός

Μια απλή αλλαγή κατάστασης, όπως η τήξη, έχει διαφορετικές συνέπειες για τις ουσίες ανάλογα με τον/τους τύπο/ους του δεσμού που εμφανίζονται.

Πίνακας 4.4: Συσχέτιση τύπων δεσμού με την τήξη και τον βρασμό.

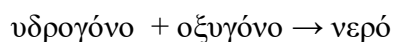
Μέταλλα	Οι μεταλλικοί δεσμοί δεν διασπώνται έντονα από την τήξη. (Ο μεταλλικός δεσμός δεν εξαρτάται από μια συγκεκριμένη γεωμετρία, έτσι το μέταλλο εξακολουθεί να συγκρατείται μαζί με μεταλλικό δεσμό σε υγρή κατάσταση και, για παράδειγμα, εξακολουθεί να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα). Κάποια μέταλλα έχουν αρκετά μέτριες θερμοκρασίες τήξης (όπως το Na, 98 °C), αλλά ο βρασμός απαιτεί να υπερνικηθεί τελείως ο μεταλλικός δεσμός. (Έτσι το νάτριο έχει θερμοκρασία βρασμού 890 °C). Η ομάδα 2 των μετάλλων έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες τήξεως από την ομάδα 1 (όπως θα ήταν αναμενόμενο διότι έχουν μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο και περισσότερα εκτοπισμένα ηλεκτρόνια). Τα μέταλλα μετάπτωσης τείνουν να έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες τήξης από τα μέταλλα κύριας ομάδας και οι δεσμοί τους λέγεται ότι εμπεριέχουν κάποιο «ομοιοπολικό χαρακτήρα». (Εδώ το μοντέλο μας ότι ο δεσμός εμπλέκει μόνο την εξωτερική στοιβάδα των ηλεκτρονίων βρίσκεται να έχει περιορισμούς.) Ο βρασμός ενός μετάλλου είναι βασικά μια μορφή ατομοποίησης - αν και οι ατμοί μετάλλων μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν μικρές συμπαγείς μάζες ατόμων.
Ιοντικά στερεά	Τα ιοντικά στερεά τείνουν να έχουν υψηλές θερμοκρασίες τήξης, καθώς ο ιοντικός δεσμός εξαρτάται από τα ιόντα που είναι διατεταγμένα στο πλέγμα, έτσι τα κατιόντα είναι δίπλα στα ανιόντα και όχι σε άλλα κατιόντα (και ομοίως για τα ανιόντα). Η εξάτμιση ιοντικών υλικών συνήθως οδηγεί σε ατμούς που περιέχουν διακριτά ιόντα και κάποιες συμπαγείς μάζες (τέτοιες όπως ζεύγη ιόντων).
Μια ουσία με ένα πλέγμα ομοιοπολικών δεσμών, τέτοια όπως το διαμάντι (C or C ∞) ή το διοξείδιο του πυριτίου (SiO $_2$).	Καθώς οι ομοιοπολικοί δεσμοί είναι κατευθυντικοί και ισχυροί, αυτές οι ουσίες τείνουν να έχουν υψηλές θερμοκρασίες τήξης. Η τήξη του υλικού απαιτεί διάσπαση (όχι μόνο εξασθένηση) των δεσμών.
Μοριακά στερεά	Τα μοριακά στερεά τείνουν να έχουν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες τήξης και βρασμού (για παράδειγμα, το άζωτο, το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, η αμμωνία είναι σε αέρια κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου), καθώς οι δεσμοί μεταξύ των μορίων είναι ασθενείς και οι δεσμοί μέσα στα μόρια δεν χρειάζεται να διασπαστούν για την αλλαγή κατάστασης.
Στερεά συνδεδεμένα με δεσμό υδρογόνου	Στερεά με δεσμό υδρογόνου τείνουν να έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες τήξης και βρασμού από άλλα υλικά με παρόμοιο μέγεθος μορίων. Στον πάγο, τα μόρια νερού σχηματίζουν ένα πλέγμα με κάθε μόριο υδρογόνου –συνδεδεμένο με τέσσερα άλλα. Αυτό διασπάται κατά την τήξη, μολονότι υπάρχει μια σταθερή διακύμανση δεσμών υδρογόνου που σχηματίστηκαν και διασπάστηκαν στο υγρό.

Διάλυση

Η διάλυση μιας ουσίας σε στερεή κατάσταση περιλαμβάνει διάσπαση δεσμών στο στερεό, διάσπαση των δεσμών στον διαλύτη και σχηματισμό νέων αλληλεπιδράσεων διαλύτη και διαλυμένης ουσίας.

Πίνακας 4.5: Συσχέτιση ειδών δεσμού με τη διάλυση.

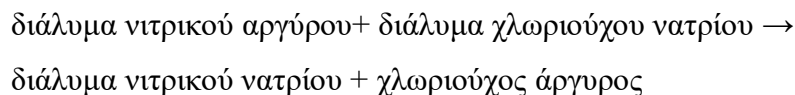
Παράδειγμα	Περιλαμβάνει	Εφικτό
Σχηματισμός κραμάτων	Διάσπαση των αρχικών μεταλλικών πλεγμάτων και σχηματισμός νέου πλέγματος – ωστόσο διατηρούνται εκτοπισμένα ηλεκτρόνια μεταξύ των θετικών καρδίων.	Συχνά εφικτό – μερικά μείγματα επιτρέπουν μια καλύτερη ‘συναρμολόγηση’ του πλέγματος απ’ ότι στα καθαρά μέταλλα
Αλάτι σε λάδι	Θα απαιτούσε διάσπαση ισχυρών δεσμών μεταξύ ιόντων, αλλά τα ιόντα δεν θα συνδεθούν ισχυρά προς μη πολικά μόρια.	Δεν συμβαίνει σημαντική διάλυση
Αλάτι σε νερό	Απαιτεί διάσπαση ισχυρών δεσμών μεταξύ ιόντων και διάσπαση του δεσμού υδρογόνου σε υγρό νερό, αλλά τα ιόντα γίνονται συχνά ισχυρώς εφυδατωμένα, καθώς πολικά μόρια νερού έλκονται από τα ιόντα.	Ορισμένα, αλλά όχι όλα, τα ιοντικά στερεά είναι πολύ διαλυτά στο νερό.
Κερί σε νερό	Οι δυνάμεις μεταξύ μορίων κεριού τείνουν να είναι μέτριες, αλλά ο δεσμός υδρογόνου στο νερό είναι αρκετά σημαντικός, και μόνο ασθενείς αλληλεπιδράσεις σχηματίζονται μεταξύ μορίων νερού και μορίων κεριού.	Δεν συμβαίνει σημαντική διάλυση
Κερί σε λάδι	Οι αλληλεπιδράσεις που σχηματίζονται μεταξύ μορίων μη πολικού διαλύτη και μορίων μη πολικής διαλυμένης ουσίας είναι παρόμοιοι στο είδος και στην ισχύ.	Μηχανική ανάδευση του στερεού με συγκρούσεις από τα μόρια του διαλύτη είναι επαρκής για να επιτραπεί να σχηματισθεί ένα διάλυμα.
Υαλος σε λάδι ή νερό	Ισχυροί ομοιοπολικοί δεσμοί σε υλικά τέτοια όπως το γυαλί είναι δύσκολο να διασπαστούν και δεν θα μπορούσαν να αντισταθμιστούν με αλληλεπιδράσεις διαλυτοποίησης.	Δεν συμβαίνει σημαντική διάλυση

1. Οι ομοιοπολικοί δεσμοί διασπώνται και σχηματίζονται:

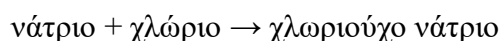
Διασπασμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί στα μόρια του υδρογόνου + διασπασμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί στα μόρια του οξυγόνου $\rightarrow$ Σχηματίζονται ομοιοπολικοί (πολικοί) δεσμοί και δίνουν μόρια νερού, σε υγροποιημένο υδρογόνο σχηματίζονται δεσμοί μεταξύ μορίων.

2. Διασπασμένοι μεταλλικοί και ομοιοπολικοί δεσμοί:

Διασπασμένοι μεταλλικοί δεσμοί στο νάτριο + διασπασμένοι ομοιοπολικοί (πολικοί) δεσμοί μεταξύ οξυγόνου και υδρογόνου σε κάποια μόρια $\rightarrow$ Σχηματίζονται αλληλεπιδράσεις διαλύτη – διαλυμένης ουσίας, ιόντα νατρίου και ιόντα υδροξειδίου ενυδατώνονται από πολικά μόρια νερού.

3. Σχηματισμός ιοντικού δεσμού:

Καταστρέφονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαλύτη (μορίων νερού) – διαλυμένης ουσίας (ιόντων αργύρου) + καταστρέφονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαλύτη (μορίων νερού) – διαλυμένης ουσίας (ιόντων χλωρίου) $\rightarrow$ (ενυδατωμένο νάτριο και νιτρικά ιόντα είναι ‘παρατηρητές’ τα οποία παραμένουν αναλλοίωτα κατά τη διάρκεια της αντίδρασης) + σχηματίζεται ιοντικό πλέγμα λόγω της αμοιβαίας έλξης ανάμεσα στα κατιόντα αργύρου και στα ανιόντα χλωρίου.

4. Διάσπαση μεταλλικού και ομοιοπολικού δεσμού, σχηματισμός ιοντικού δεσμού:

Διάσπαση μεταλλικού δεσμού στο νάτριο + διάσπαση ομοιοπολικών δεσμών στα μόρια χλωρίου $\rightarrow$ σχηματίστηκε ιοντικός δεσμός μεταξύ ιόντων νατρίου και μορίων χλωρίου.

Μόλις οι μαθητές θα έχουν διδαχθεί σχετικά με τους τύπους δεσμού, είναι χρήσιμο κατά τη συζήτηση διαφόρων αντιδράσεων σε διάφορα θέματα να ρωτήσουμε τους μαθητές σχετικά με τα είδη των δεσμών που διασπώνται και σχηματίζονται. Αυτό θα ενισχύσει τη μάθηση, θα βοηθήσει στη μεταστροφή των μαθητών από τη σκέψη του δεσμού και των αντιδράσεων σε όρους «οκτάδας» σε ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις, και θα τους ενθαρρύνει να προσπαθήσουν να απεικονίσουν ό,τι συμβαίνει στο υπομικροσκοπικό επίπεδο.