Διερεύνηση της ικανότητας μαθητών και φοιτητών να μεταφράζουν χημικές αναπαραστάσεις

Γκίτζια Βασιλική, Σάλτα Κατερίνα, Τζουγκράκη Χρύσα
Γυμνάσιο Τ.Λ. Γαυρίου Άνδρου, v_gitzia@yahoo.com
2ο Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο Αθηνών, ksalta@chem.uoa.gr
Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ, tzougraki@chem.uoa.gr

Περίληψη

Η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία περιλαμβάνει την ικανότητα του ατόμου να σκέφτεται σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο, καθώς και την ικανότητα να μεταφράζει τις αντίστοιχες χημικές αναπαραστάσεις. Στην παρούσα έρευνα εξετάσαμε την ικανότητα μαθητών Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου (N=466) και τριτοετών φοιτητών χημείας (N=86) να μεταφράζουν αναπαραστάσεις από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο για τις βασικές έννοιες: *χημικό στοιχείο, χημική ένωση, στερεή κατάσταση, υδατικό διάλυμα και χημική αντίδραση*. Για την διεξαγωγή της έρευνας κατασκευάσαμε ένα ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και ανοικτού τύπου. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα η ικανότητα μαθητών και φοιτητών να μεταφράζουν τις αναπαραστάσεις των τριών επιπέδων της χημείας είναι περιορισμένη και εξαρτάται από την υποκείμενη έννοια και το συνδυασμό των επιπέδων. Τόσο οι μαθητές όσο και οι φοιτητές είχαν την χαμηλότερη επίδοση στις μεταφράσεις των αναπαραστάσεων υδατικού διαλύματος και χημικής αντίδρασης, καθώς επίσης και στη μετάφραση μικροσκοπικών αναπαραστάσεων σε συμβολικές.

Abstract

Meaningful understanding in chemistry includes the ability to think at macroscopic, submicroscopic and symbolic level of chemistry, and the ability to translate between chemical representations. In this study we investigated the ability of 11th Grade students (N=466) and 3rd year chemistry students (N=86) to make translations from one level of chemistry to another for the basic concepts: *chemical element, chemical compound, solid state of matter, aqueous solution and chemical reaction*. Students' performance was measured by an instrument consisting of multiple choice and open-ended questions. Our results show that students' capacity to move across the three levels of chemistry is low and varies depending on the underlying concept and the combination of levels. Both high school and undergraduate students had lower performance in translations concerning the concepts aqueous solution and chemical reaction and in translating the submicroscopic representations into the symbolic ones.

Εισαγωγή

Η εννοιολογική κατανόηση των χημικών εννοιών είναι καθολικά αποδεκτό ότι περιλαμβάνει την ικανότητα του ατόμου να αντιλαμβάνεται έννοιες σε συμβολικό, σε μικροσκοπικό και σε μακροσκοπικό επίπεδο και να μεταβαίνει από το ένα επίπεδο στο άλλο (Salta & Tzougraki 2011, Gilbert & Treagust 2009, Tsaparlis 2009, Wu & Shah 2004, Treagust et al. 2003, Hoffmann & Laszlo 1991). Η οπτικοποίηση των εννοιών στα τρία επίπεδα της χημείας γίνεται μέσω των αντίστοιχων χημικών αναπαραστάσεων. Η μετάφραση μεταξύ των χημικών αναπαραστάσεων δεν είναι μια απλή διεργασία, αλλά σχετίζεται με το μηχανισμό των αναλογικών συλλογισμών, ο οποίος περιλαμβάνει την αναγνώριση και τη μεταφορά μιας δομικής πληροφορίας από ένα γνωστό σύστημα (πηγή) σε ένα καινούριο και σχετικά άγνωστο (στόχος). Επομένως, η μετάφραση είναι μια διαδικασία επεξεργασίας πληροφοριών, η οποία απαιτεί την κατανόηση των χημικών εννοιών σε τέτοιο βαθμό ώστε ο μαθητής/φοιτητής αφενός να μπορεί να ερμηνεύσει τις πληροφορίες που παρέχει μια αναπαράσταση και αφετέρου να μπορεί να συμπεράνει τις πληροφορίες που απαιτούνται για να κατασκευάσει μια άλλη ισοδύναμη αναπαράσταση. Η ικανότητα αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο του βαθμού ουσιαστικής κατανόησης των χημικών εννοιών και άρα ένα στοιχείο ανατροφοδότησης της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

Επιπροσθέτως, η ικανότητα μετάφρασης αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά της αναπαραστατικής ικανότητας κατά Kozma & Russell (2005) και της ικανότητας μεταοπικοποίησης κατά Gilbert (2005), οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μάθηση της χημείας.

Στην παρούσα έρευνα εξετάσαμε την ικανότητα μετάφρασης μεταξύ των χημικών αναπαραστάσεων και τη δυνατότητα μετάβασης από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο σε μαθητές και προπτυχιακούς φοιτητές για μια σειρά θεμελιωδών χημικών εννοιών, οι οποίες είναι: το χημικό στοιχείο, η χημική ένωση, η στερεή κατάσταση, το υδατικό διάλυμα και η χημική αντίδραση. Οι μαθητές διδάσκονται τις παραπάνω έννοιες από τα πρώτα χρόνια της εκπαίδευσής τους και πάνω σε αυτές βασίζεται η μετέπειτα ανάπτυξη επιστημονικών εννοιών και πεδίων (οργανική χημεία, χημική ισορροπία, χημική κινητική, θερμοχημεία, οξειδοαναγωγή, στοιχειομετρία κτλ.).

Μεθοδολογία της έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε μαθητές Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου (ομάδα Ι) και σε προπτυχιακούς φοιτητές 3ου έτους Τμήματος Χημείας (ομάδα ΙΙ). Η επιλογή των μαθητών της ομάδας Ι έγινε διότι στη Β΄ τάξη του Λυκείου έχει ολοκληρωθεί πλήρως η διδασκαλία των βασικών εννοιών που επεδίωκε να εξετάσει η έρευνα. Αντίστοιχα, η επιλογή της ομάδας ΙΙ έγινε διότι στο 3ο έτος έχει προχωρήσει σε σημαντικό βαθμό η εκπαίδευση των φοιτητών, ώστε να εκτιμήσουμε την εξέλιξη των ικανοτήτων τους. Το μέγεθος της ομάδας Ι ήταν 466 μαθητές από 10 Γενικά Λύκεια της Ελλάδας, εκ των οποίων 5 Λύκεια του νομού Αττικής, 1 Λύκειο του νομού Θεσσαλονίκης και 4 Λύκεια της υπόλοιπης Ελλάδας (ομάδα Ι). Την ομάδα ΙΙ αποτέλεσαν 86 φοιτητές του 6ου εξαμήνου σπουδών του Τμήματος Χημείας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Για τη διεξαγωγή της έρευνας κατασκευάσαμε ένα ερωτηματολόγιο, αποτελούμενο από 14 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και 1 ερώτηση ανοικτού τύπου, οι οποίες περιείχαν μακροσκοπικές, μικροσκοπικές και συμβολικές αναπαραστάσεις. Σε κάθε ερώτηση δόθηκε στους μαθητές/φοιτητές μία χημική αναπαράσταση σε ένα επίπεδο της χημείας (π.χ. συμβολικό) και ζητήθηκε από αυτούς να επιλέξουν ή να κατασκευάσουν μία ισοδύναμη αναπαράσταση σε κάποιο άλλο επίπεδο (π.χ. μικροσκοπικό). Για την κατασκευή του ερωτηματολογίου, προηγήθηκε:

(Α) Προκαταρκτική διερεύνηση του τρόπου που αντιλαμβάνονται οι μαθητές τα είδη των αναπαραστάσεων που σκοπεύαμε να χρησιμοποιήσουμε μέσω ενός ερωτηματολογίου με ερωτήσεις ανοικτού τύπου, τα αποτελέσματα της οποίας βοήθησαν στην κατασκευή των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής.

(Β) Πιλοτική έρευνα σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα (N=91) του ερευνητικού πληθυσμού με τις ερωτήσεις κλειστού τύπου, από τα αποτελέσματα της οποίας βελτιώθηκαν οι ερωτήσεις και το ερωτηματολόγιο πήρε την τελική του μορφή.

Αποτελέσματα και σχολιασμός

Από το στατιστικό έλεγχο της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας αποκλείσαμε 4 ερωτήσεις για το δείγμα των μαθητών και μία ερώτηση για το δείγμα των φοιτητών, επειδή θεωρήθηκαν οριακά ως ακατάλληλες. Για τις υπόλοιπες ερωτήσεις οι τιμές που έλαβε ο δείκτης αξιοπιστίας Cronbach's Alpha είναι α_I=0,60 και α_{II}=0,80 για την ομάδα Ι και ΙΙ αντίστοιχα. Τα περιγραφικά στατιστικά για τα δύο δείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι απαντήσεις βαθμολογήθηκαν από δύο καθηγήτριες δευτεροβάθμιας και μία καθηγήτρια τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και υπήρξε συμφωνία 100%. Η ελάχιστη επίδοση των μαθητών και των φοιτητών ήταν μία σωστή απάντηση, ενώ η μέγιστη επίδοση των μαθητών ήταν 11 και των φοιτητών 14 σωστές απαντήσεις. Γενικά, η επίδοση μαθητών και φοιτητών ποικίλει ανάλογα με την υποκείμενη χημική έννοια και με το συνδυασμό των επιπέδων της χημείας που θα έπρεπε να συσχετιστούν. Παρακάτω περιγράφονται τα αποτελέσματα για κάθε χημική έννοια.

Πίνακας 1: Περιγραφικά στατιστικά της επίδοσης μαθητών και φοιτητών.

Δείγμα	Ερωτήσεις	Ελάχιστη επίδοση	Μέγιστη επίδοση	Μέσος όρος	Διακύμανση	Cronbach's Alpha
Μαθητές (N=466)	11	1	11	4,2	5,1	α_I=0,60
Φοιτητές (N=86)	14	1	14	10,3	8,6	α_{II}=0,80

Χημικό στοιχείο

Αναφορικά με την έννοια του χημικού στοιχείου εξετάστηκε η μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο και η αντίστροφη, από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η πλειονότητα των μαθητών (89,3%) πέτυχε τη μετάφραση «μικρο→μακρο», ενώ μόνο το 55,5% πέτυχε την αντίστροφη. Η ανάλυση διασταύρωσης έδειξε ότι και τις δύο μεταφράσεις μπορούσε να επιτύχει το 49,6% των μαθητών.

Η επίδοση των φοιτητών στις μεταφράσεις των αναπαραστάσεων του χημικού στοιχείου είναι αρκετά υψηλή, με το 80,2% των φοιτητών να πετυχαίνει τη «μικρο→μακρο» μετάφραση και το 95,3% την αντίστροφη. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το 17,4% φοιτητών επέλεξε λανθασμένα την εικόνα ενός λευκού στερεού (ανθρακικό ασβέστιο) ως μετάφραση της μικροσκοπικής αναπαράστασης χημικού στοιχείου (Εικόνα 1).

Οι λανθασμένες μεταφράσεις που προκύπτουν από τις αναπαραστάσεις που επέλεξαν μερικοί μαθητές είναι οι εξής: α) Αντιστοιχίζουν τη μικροσκοπική αναπαράσταση μίας ουσίας που αποτελείται από ένα είδος σφαιρών με ένα λευκό στερεό με μορφή σκόνης (ανθρακικό ασβέστιο). β) Αντιστοιχίζουν το στερεό μεταλλικό νάτριο με τη μικροσκοπική αναπαράσταση των ιοντικών ενώσεων της μορφής $(MA)_6$ που αναπαριστάται με δύο είδη σφαιρών. Δηλαδή, από τις αναπαραστάσεις δεν φαίνεται να έχουν την επιστημονική αντίληψη για τη σύσταση των χημικών στοιχείων.

Εικόνα 1: Ερώτηση που αφορά στη μετάφραση «μικρο→μακρο» αναπαραστάσεων ενός χημικού στοιχείου.

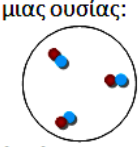
Χημική ένωση

Αναφορικά με την έννοια της χημικής ένωσης εξετάστηκε η μετάφραση «συμβο→μικρο» και η αντίστροφη «μικρο→συμβο». Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 61,8% των μαθητών μετέφρασε επιτυχώς το μοριακό τύπο μιας αέριας ουσίας στο αντίστοιχο είδος σωματιδίων, ενώ το αντίστροφο (Εικόνα 2) επετεύχθη μόνο από το 14,2%. Η ανάλυση διασταύρωσης έδειξε ότι και τις δύο μεταφράσεις ήταν σε θέση να επιτύχει το 9,0% των μαθητών. Στην περίπτωση που η μετάφραση «μικρο→συμβο» αφορούσε κρυσταλλικό πλέγμα, το ποσοστό επιτυχίας των μαθητών ανήλθε στο 65,7%. Οι επιδόσεις των φοιτητών ήταν πολύ καλύτερες των μαθητών, αλλά διέφεραν ανάλογα με το είδος της μετάφρασης και το είδος της χημικής ένωσης. Για μία αέρια μοριακή ένωση το 81,4% των φοιτητών μετέφρασε επιτυχώς μια συμβολική αναπαράσταση σε μικροσκοπική, ενώ για την αντίστροφη μετάφραση, «μικρο→συμβο» (Εικόνα 2), το ποσοστό των επιτυχόντων φοιτητών ήταν 59,3%. Ωστόσο, για το ίδιο είδος

μετάφρασης, «μικρο→συμβο», που αφορούσε μία ιοντική ένωση η επίδοση των φοιτητών ήταν υψηλότερη (89,5%).

Από τις λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών αποκαλύπτεται η αντίληψή τους ότι στην αέρια κατάσταση τα άτομα μιας χημικής ένωσης δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, δηλαδή ότι δεν υπάρχει χημικός δεσμός μεταξύ των ατόμων. Επίσης, αναδεικνύονται και δυσκολίες κατανόησης της χρήσης των συντελεστών και των δεικτών στους μοριακούς τύπους, καθώς και των συμβόλων των πολυατομικών ιόντων. Οι δυσκολίες αυτές και η παραπάνω αντίληψη για τις αέριες χημικές ενώσεις παρατηρούνται σε κάποιο βαθμό και στους φοιτητές.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα σωματίδια μιας ουσίας:



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

α) NO β) $(NO)_3$ γ) N_3O_3 δ) 3 NO

Εικόνα 2: Ερώτηση που αφορά στη μετάφραση «μικρο→συμβο» αναπαραστάσεων μιας χημικής ένωσης.

Στερεή φυσική κατάσταση

Αναφορικά με την έννοια της στερεής φυσικής κατάστασης κατά τη μετάφραση «μικρο→μακρο» το 71,4% των μαθητών είχε την ικανότητα να συνδέσει την πυκνή διάταξη των σωματιδίων με ένα στερεό υλικό (Εικόνα 1). Κατά την αντίστροφη μετάφραση, «μακρο→μικρο», το ποσοστό επιτυχίας ήταν 87,3%. Στη μετάφραση «μικρο→συμβο» το 67,4% των μαθητών χρησιμοποίησε τη συμβολική αναπαράσταση με το δείκτη «s» στο μοριακό τύπο προκειμένου να συμβολίσει μία ουσία με πυκνή διάταξη σωματιδίων. Τα ποσοστά των μαθητών που πέτυχαν δύο από τις τρεις μεταφράσεις είναι τα εξής: «μικρο→μακρο» & «μακρο→μικρο» 63,7%, «μικρο→συμβο» & «μικρο→μακρο» 49,1%, «μακρο→μικρο» & «μικρο→συμβο» 60,1%, ενώ και τις τρεις μεταφράσεις πέτυχε το 44,8% των μαθητών. Σε μία άλλη ερώτηση δόθηκαν στους μαθητές τέσσερις τριάδες αναπαραστάσεων, που η κάθε μία περιλάμβανε μία μικροσκοπική, μία μακροσκοπική και μία συμβολική αναπαράσταση, και τους ζητήθηκε να επιλέξουν την τριάδα στην οποία απεικονίζεται η ίδια ουσία και στις τρεις αναπαραστάσεις (συσχετισμός «μακρο-μικρο-συμβο»). Τη σωστή απάντηση επέλεξε το 53,4% των μαθητών. Οι επιδόσεις των φοιτητών στις ερωτήσεις για την έννοια της στερεής κατάστασης είναι πολύ υψηλές. Το 88,3% σημείωσε επιτυχία στη μετάφραση «μικρο→μακρο» (Εικόνα 1) και το 100,0% στην αντίστροφη μετάφραση «μακρο→μικρο». Επίσης, το 96,5% των φοιτητών πέτυχε τη μετάφραση «μικρο→συμβο» και το 88,4% μπορούσε να συσχετίσει και τα τρία επίπεδα της χημείας («μακρο μικρο-συμβο»).

Τα προβλήματα που αποκαλύφτηκαν από τις λανθασμένες αναπαραστάσεις που επέλεξαν οι μαθητές είναι τα εξής: α) Συσχετίζουν το χρώμα των σωματιδίων στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις με το χρώμα της ουσίας μακροσκοπικά, αγνοώντας την ποιοτική σύσταση και τη διάταξη των σωματιδίων. Η συσχέτιση αυτή μπορεί να συνδέεται με την αντίληψη των μαθητών ότι τα άτομα και τα μόρια διατηρούν τις μακροσκοπικές ιδιότητες των χημικών ουσιών των οποίων είναι δομικά συστατικά. Η αντίληψη σχετικά με το χρώμα των σωματιδίων φαίνεται να διατηρείται σε κάποιο βαθμό και στους φοιτητές. β) Συμβολίζουν μία ουσία με πυκνή διάταξη σωματιδίων χρησιμοποιώντας σε ένα μοριακό τύπο το δείκτη «g» αντί για το δείκτη «s».

Υδατικό διάλυμα

Στις μεταφράσεις που αφορούσαν υδατικά διαλύματα, οι μαθητές αντιμετώπισαν σημαντικές δυσκολίες. Οι μεταφράσεις «μικρο→μακρο» (Εικόνα 3) και «μικρο→συμβο»

επιτεύχθηκαν από το 29,4% και το 19,7% των μαθητών αντίστοιχα. Και οι δύο παραπάνω μεταφράσεις επιτεύχθηκαν μόνο από το 9,2% των μαθητών. Πολύ καλύτερες αλλά όχι ανάλογες με τις σπουδές τους, οι επιδόσεις των φοιτητών. Η μετάφραση «μικρο→μακρο» επετεύχθη από το 67,4% των φοιτητών, η αντίστροφη μετάφραση «μακρο→μικρο» από το 76,7%, η μετάφραση «συμβο→μικρο» από το 65,1% και η αντίστροφη μετάφραση «μικρο→συμβο» από το 64,0%.

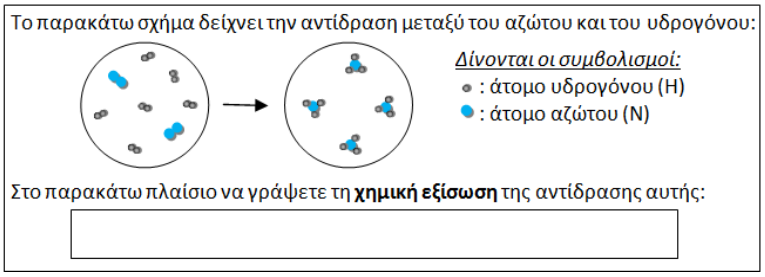
Εικόνα 3: Ερώτηση που αφορά στη μετάφραση «μικρο→μακρο» αναπαραστάσεων ενός διαλύματος.

Οι λανθασμένες αναπαραστάσεις που επιλέχθηκαν από τους μαθητές επιβεβαιώνουν την εναλλακτική ιδέα τους σχετικά με τη διατήρηση των μακροσκοπικών ιδιοτήτων στα σωματίδια. Επιπλέον, αποκαλύπτουν δυσκολίες των μαθητών: α) στη διάκριση μεταξύ των μικροσκοπικών αναπαραστάσεων υδατικών διαλυμάτων, ετερογενών μειγμάτων και χημικών ουσιών (η μικροσκοπική αναπαράσταση ενός υδατικού διαλύματος βρωμίου μεταφράζεται είτε σε ένα μίγμα θείου-σιδήρου είτε στο θειικό σίδηρο), β) στο συμβολισμό υδατικού διαλύματος χλωρίου (επιλέγεται σε μεγάλο ποσοστό η αναπαράσταση $Cl_2H_2O_{(aq)}$). Τα προβλήματα αυτά διατηρούνται και σε μεγάλο αριθμό φοιτητών.

Χημική αντίδραση

Η χημική αντίδραση ήταν η πιο δύσκολη έννοια για τους μαθητές. Μόνο το 21,0% των μαθητών μετέφρασε επιτυχώς μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην αντίστοιχη συμβολική, το αντίθετο επετεύχθη από το 32,0%, ενώ τη μετάφραση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο μπορούσε να επιτύχει το 32,4% των μαθητών. Τα ποσοστά των μαθητών που πέτυχαν περισσότερες από μία μεταφράσεις είναι τα εξής: «μικρο→συμβο» & «συμβο→μικρο» 12,0%, «μικρο→συμβο» & «μικρο→μακρο» 10,5%, «μικρο→συμβο», «συμβο→μικρο» & «μικρο→μακρο» 6,9%.

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι πολλοί μαθητές έχουν βασικές παρανοήσεις ή έλλειψη γνώσεων για τις έννοιες της χημικής αντίδρασης και της χημικής εξίσωσης. Παρατηρείται μεγάλη σύγχυση σχετικά με την εφαρμογή της διατήρησης της μάζας και το ρόλο των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις. Σε μία ερώτηση ανοικτού τύπου, στην οποία δινόταν η μικροσκοπική αναπαράσταση μίας χημικής αντίδρασης και οι μαθητές έπρεπε να γράψουν μία αντίστοιχη χημική εξίσωση (Εικόνα 4), το 21,0% απάντησε σωστά, ενώ το 46,1% δεν απάντησε. Το 15,3% των μαθητών κατασκεύασε μία χημική εξίσωση στην οποία τηρούνταν η ισοστάθμιση της μάζας, αλλά ήταν λάθος ένας ή περισσότεροι από τους μοριακούς τύπους αντιδρώντων και προϊόντων. Το 3,4% των μαθητών έγραψε σωστά όλους τους μοριακούς τύπους, αλλά δεν διατήρησε τη μάζα. Το 6,9% έγραψε σωστά μερικούς μόνο μοριακούς τύπους και δεν διατήρησε τη μάζα και, τέλος, το 7,3% έκανε λάθος σε όλους τους μοριακούς τύπους και στην ισοστάθμιση της μάζας.



Εικόνα 4: Ερώτηση που αφορά στη μετάφραση «μικρο→συμβο» αναπαραστάσεων μιας χημικής αντίδρασης.

Η επίδοση των μαθητών για την αντίστροφη μετάφραση «συμβο→μικρο» ήταν επίσης χαμηλή: το 32,0% των μαθητών συσχέτισε σωστά τη χημική εξίσωση μίας αντίδρασης με την αντίστοιχη μικροσκοπική αναπαράσταση, το 51,1% επέλεξε μία μικροσκοπική αναπαράσταση στην οποία τηρήθηκε η ισοστάθμιση της μάζας, αλλά ήταν λάθος τουλάχιστον ένα από τα σωματίδια που απεικόνιζαν τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα, ενώ το 17,6% επέλεξε μία αναπαράσταση στην οποία ήταν σωστά τα σωματίδια αντιδρώντων-προϊόντων αλλά ήταν λάθος η ισοστάθμιση της μάζας.

Η επίδοση των φοιτητών στην έννοια της χημικής αντίδρασης έχει ως εξής: Η μετάφραση «μικρο→συμβο» επετεύχθη από το 83,7%, η αντίστροφη «συμβο→μικρο» από το 74,4%, η μετάφραση «μακρο→μικρο» από το 51,2% και η αντίστροφη «μικρο→μακρο» από το 68,6% των φοιτητών. Τα προβλήματα που ανιχνεύτηκαν στους φοιτητές είναι τα παρακάτω: α) Ένα μικρό ποσοστό (7%) δεν ήταν σε θέση να γράψει καμία χημική εξίσωση που να εκφράζει μία δοθείσα μικροσκοπική αναπαράσταση (Εικόνα 4). β) Ισο ποσοστό (7%) δεν λαμβάνει υπόψη την διατήρηση της μάζας. γ) Αρκετοί φοιτητές (31%) δεν λαμβάνουν υπόψη τη φυσική κατάσταση όλων των αντιδρώντων και προϊόντων κατά τη μετάφραση «μικρο→μακρο» μιας χημικής αντίδρασης.

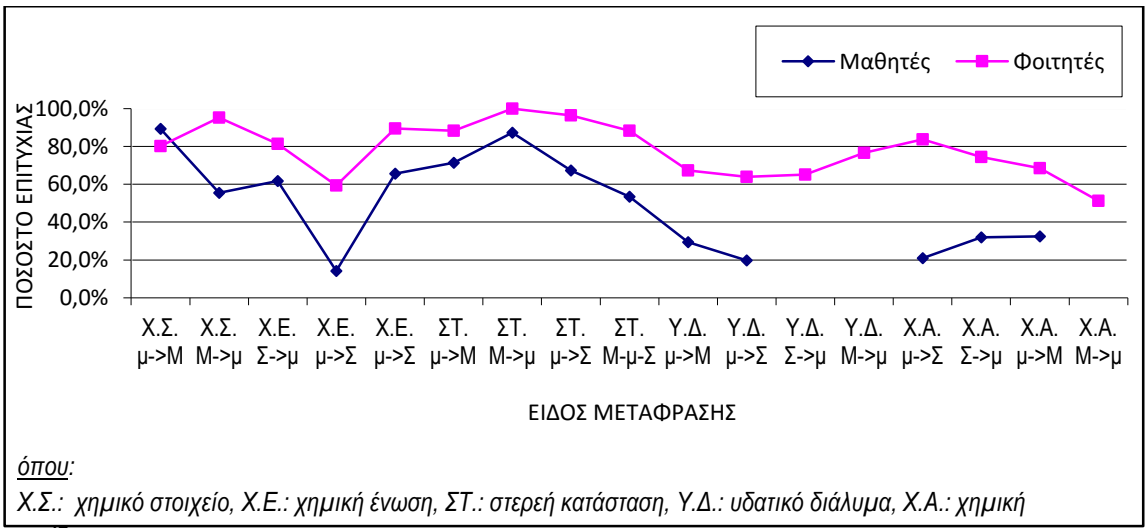
Συμπεράσματα και συζήτηση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που περιγράφτηκαν παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη ότι οι εξεταζόμενες έννοιες έχουν διδαχθεί σε προηγούμενα σχολικά έτη, η ικανότητα μετάφρασης των μαθητών Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου θεωρούμε ότι είναι περιορισμένη. Το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας που σημειώθηκε ήταν 89,3% στη μετάφραση «μικρο→μακρο» για ένα χημικό στοιχείο και το χαμηλότερο ήταν 14,2% στη μετάφραση «μικρο→συμβο» για μία χημική ένωση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ικανότητα μετάφρασης των μαθητών εξαρτάται από την υποκείμενη χημική έννοια και από το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων γίνεται η μετάφραση. Οι έννοιες που δυσκόλεψαν περισσότερο τους μαθητές είναι το υδατικό διάλυμα και η χημική αντίδραση, ενώ η καλύτερη επίδοση σημειώθηκε στις έννοιες του χημικού στοιχείου και της στερεής φυσικής κατάστασης. Αναφορικά με τα επίπεδα μετάφρασης οι μαθητές δυσκολεύτηκαν περισσότερο στις μεταφράσεις από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο, όπου η επίδοσή τους κυμάνθηκε από 14,2% έως 67,4% ανάλογα με την έννοια. Αντίστοιχα η επίδοση των φοιτητών Χημείας 3^{ου} έτους κυμάνθηκε από 100,0% στη μετάφραση «μικρο→μακρο» για τη στερεή φυσική κατάσταση έως 51,2% στη μετάφραση «μακρο→μικρο» για μία χημική αντίδραση. Με δεδομένο τις σπουδές των φοιτητών η επίδοσή τους δεν θεωρείται ικανοποιητική σε όλες τις μεταφράσεις. Όπως και στους μαθητές, η επίδοση των φοιτητών εξαρτάται από την εξεταζόμενη έννοια και από το συνδυασμό των επιπέδων μεταξύ των οποίων ζητείται η μετάφραση. Οι φοιτητές δυσκολεύτηκαν περισσότερο στις έννοιες του υδατικού διαλύματος και της χημικής αντίδρασης, ενώ είχαν καλή επίδοση στις έννοιες της στερεής φυσικής κατάστασης και του χημικού στοιχείου.

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

ικανότητά τους να μεταφράζουν μεταξύ των αναπαραστάσεων. Οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης πέτυχαν καλύτερες επιδόσεις από τους υπόλοιπους ($p<0,001$), ενώ η διαφορά μεταξύ των μαθητών θεωρητικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης δεν είναι στατιστικά σημαντική ($p=0,212$). Να σημειώσουμε ότι η έρευνα διεξήχθη στην αρχή της σχολικής χρονιάς, επομένως, τα επιπλέον μαθήματα στη χημεία κατεύθυνσης που είχαν παρακολουθήσει οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης ήταν πολύ λίγα και δεν έπαιξαν ρόλο στην επίδοσή τους. Σημαντική στατιστικά διαφορά διαπιστώθηκε μεταξύ των δύο φύλων, με τα αγόρια να έχουν καλύτερη επίδοση ($F=7,666$, $df=464$, $p<0,05$).

Όπως ήταν αναμενόμενο, η ικανότητα μετάφρασης των φοιτητών είναι καλύτερη συγκριτικά με τους μαθητές με εξαίρεση τη μετάφραση «μικρο→συμβο» για το χημικό στοιχείο, γεγονός που προκαλεί εντύπωση (Διάγραμμα 1). Ωστόσο, δεν ήταν αναμενόμενα ορισμένα προβλήματα που ανιχνεύθηκαν από τις απαντήσεις των φοιτητών, όπως για παράδειγμα η μη εφαρμογή του νόμου διατήρησης της μάζας στις χημικές αντιδράσεις, η άποψη ότι στις αέριες χημικές ενώσεις τα άτομα δεν συνδέονται μεταξύ τους, ότι στο αλατόνερο το χλωριούχο νάτριο βρίσκεται υπό μορφή μορίων κ.α.



όπου:
Χ.Σ.: χημικό στοιχείο, Χ.Ε.: χημική ένωση, ΣΤ.: στερεή κατάσταση, Υ.Δ.: υδατικό διάλυμα, Χ.Α.: χημική

Διάγραμμα 1: Σύγκριση της επίδοσης μαθητών - φοιτητών στις μεταφράσεις των χημικών αναπαραστάσεων των εξεταζόμενων εννοιών.

Μια από τις αιτίες για τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και οι φοιτητές με την μετάφραση των διαφόρων αναπαραστάσεων είναι η χρήση τους στα σχολικά εγχειρίδια. Όπως διαπιστώθηκε από προηγούμενη έρευνα (Gkitzia, Salta & Tzougraki 2011) τα σχολικά βιβλία που μελετήθηκαν περιέχουν μεν σημαντικό αριθμό χημικών αναπαραστάσεων, όμως οι περισσότερες αναφέρονται σε συμβολικό και μακροσκοπικό επίπεδο και παρουσιάζουν διάφορες ελλείψεις, όπως για παράδειγμα ελλιπής επεξήγηση, ελλιπής σύνδεση με τις υποκείμενες έννοιες, ελλιπής επισήμανση της αντιστοιχίας μεταξύ αναπαραστάσεων της ίδιας έννοιας ή του ίδιου φαινομένου που αναφέρονται σε διαφορετικά επίπεδα της χημείας κ.α.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και συγκεκριμένα ο δείκτη αξιοπιστίας έδειξε ότι το ερωτηματολόγιο ταιριάζει περισσότερο στα χαρακτηριστικά των φοιτητών, οι οποίοι έχουν εντρυφήσει περισσότερο σε θέματα χημείας, συγκριτικά με τους μαθητές. Το παραπάνω στοιχείο συνηγορεί στην άποψη ότι η μετάφραση μεταξύ των χημικών αναπαραστάσεων δεν είναι μία απλή διαδικασία, αλλά προϋποθέτει γνώσεις, δεξιότητες και προπάντων την εννοιολογική κατανόηση των υποκείμενων εννοιών. Επίσης, όπως έδειξαν οι αναλύσεις διασταύρωσης, σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές/φοιτητές είναι σε θέση να επιτύχουν μία

μετάφραση (π.χ. «μικρο→συμβο»), αλλά αδυνατούν να επιτύχουν την αντίστροφη («συμβο→μικρο»).

Προκειμένου να βελτιώσουμε την εννοιολογική κατανόηση στη χημεία η διδασκαλία θα πρέπει να περιλαμβάνει χημικές αναπαραστάσεις και στα τρία επίπεδα, αλλά και μεταφράσεις μεταξύ αυτών. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της έρευνας θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις αναπαραστάσεις των χημικών ενώσεων, των διαλυμάτων και των χημικών αντιδράσεων, καθώς επίσης και στις μεταφράσεις από το μικροσκοπικό στο συμβολικό επίπεδο, από το συμβολικό στο μικροσκοπικό και από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό, διότι σε αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές και οι φοιτητές αντιμετωπίζουν τις περισσότερες δυσκολίες.

Βιβλιογραφία

Gilbert, J.K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J.K. Gilbert (Eds), Visualization in science education, Springer, pp. 9-27.

Gilbert, J.K. & Treagust, D. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds), Multiple representations in chemical education, Springer, pp. 1-8.

Gkitzia, V., Salta, K. & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. Chemistry Education Research and Practice, 12, 5-14.

Hoffmann, R. & Laszlo, R. (1991). Representation in chemistry. Angewandte Chemie International Edition, 30, 1-16.

Kozma, R.B. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J.K. Gilbert (Eds), Visualization in science education, Springer, pp. 121-146.

Salta, K. & Tzougraki, C. (2011). Conceptual versus algorithmic problem-solving: Focusing on problems dealing with conservation of matter in chemistry. Research in Science Education, 41, 587-609.

Treagust, D.F., Chittleborough G. & Mamiala, T.L. (2003). The Role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. International Journal of Science Education, 25 (11), 1353-1368.

Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds), Multiple representations in chemical education, Springer, pp. 109-136.

Wu, H.K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. Science Education, 88, 465-492.