

## Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1, Αρ. 1 (2008)



### Εναλλακτικές Αντιλήψεις Μαθητών Λυκείου για τις Αντιδράσεις Οξειδωσης/Καύσης

*Νίκος Βαλανίδης, Αθανασία Νικολαΐδου*

#### Βιβλιογραφική αναφορά:

Βαλανίδης Ν., & Νικολαΐδου Α. (2008). Εναλλακτικές Αντιλήψεις Μαθητών Λυκείου για τις Αντιδράσεις Οξειδωσης/Καύσης. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 1(1), 33-57. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44684>

## Εναλλακτικές Αντιλήψεις Μαθητών Λυκείου για τις Αντιδράσεις Οξειδωσης/Καύσης

Νίκος Βαλανίδης<sup>1</sup>, Αθανασία Νικολαΐδου<sup>2</sup>  
nichri@ucy.ac.cy, seiicase@ucy.ac.cy

### Περίληψη

Εννιά μαθητές τρίτης Λυκείου συμμετείχαν σε ατομικές κλινικές συνεντεύξεις που αφορούσαν την κατανόηση των αλλαγών οι οποίες σχετίζονται με τη διαδικασία οξειδωσης/καύσης. Ζητήθηκε από κάθε μαθητή, πρώτο, να προβλέψει τι θα συμβεί όταν θερμανθεί ένα κομμάτι χάλκινο σύρμα ή μια λωρίδα μαγνησίου και, δεύτερο, να θερμάνει διαδοχικά το καθένα από αυτά σε φλόγα λύχνου Bunsen. Ύστερα από κάθε πείραμα, ζητήθηκε από κάθε μαθητή να εξηγήσει το αποτέλεσμα με βάση τις αλλαγές που συνδέονταν με αυτό σε μακρο-επίπεδο και σε μικρο-επίπεδο. Υποβάλλονταν, επίσης, ερωτήσεις που σχετίζονταν με τη διατήρηση της μάζας, τις μεταβολές της ενέργειας λόγω της διάσπασης και το σχηματισμό νέων χημικών δεσμών σε κάθε χημική αντίδραση καθώς και την αναγωγή του οξειδίου του χαλκού. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι οι μαθητές είχαν περιορισμένη αντίληψη όσον αφορά τις χημικές αντιδράσεις, ενώ οι απαντήσεις τους παρουσίαζαν μια συσσωρευμένη δηλωτική γνώση την οποία δεν είχαν αφομοιώσει. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι μαθητές ασχολήθηκαν κατ' επανάληψη με τις οξειδο-αναγωγικές αντιδράσεις, ως αντιδράσεις με οξυγόνο αλλά και ως αντιδράσεις μεταβολής των αριθμών οξειδωσης, τα αποτελέσματα δικαιολογούν την αμφισβήτηση για την καταλληλότητα των υφιστάμενων αναλυτικών προγραμμάτων και των διδακτικών προσεγγίσεων που υιοθετούνται, και γίνονται διάφορες εισηγήσεις για αλλαγές. Οι εισηγήσεις αυτές στηρίζονται στη θεώρηση της μάθησης ως διαδικασίας επικοδόμησης της γνώσης και υποστηρίζουν την ανάγκη ενθάρρυνσης της έρευνας δράσης εκ μέρους των εκπαιδευτικών και την εφαρμογή διδακτικών μεθόδων, που λαμβάνουν υπόψη την περίπλοκη φύση των χημικών εννοιών και τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται (αναπαρίστανται) από τους χημικούς.

---

<sup>1</sup> Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λευκωσία, Κύπρος

<sup>2</sup> Υπουργείο Παιδείας και Πολιτισμού, Λευκωσία, Κύπρος

## Εισαγωγή

Το πρότυπο της εποικοδομητικής προσέγγισης εφαρμόστηκε στη μάθηση των φυσικών επιστημών σε ευρεία κλίμακα ανά το παγκόσμιο. Μερικοί ερευνητές (Solomon, 1994) πιστεύουν ότι η προοπτική αυτή έχει ήδη εξαντληθεί και δεν μπορεί πλέον να προτείνει νέες ιδέες. Από την άλλη όμως συνεχίζεται το ενδιαφέρον για έρευνα με βάση τον εποικοδομισμό και η προσπάθεια αφιερώνεται, όσο γίνεται περισσότερο, στη διευκόλυνση της οικοδόμησης γνώσεων παρά στην απλή διακρίβωση των εναλλακτικών αντιλήψεων που κατέχουν οι μαθητές. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται από τους μελλοντικούς εκπαιδευτικούς να είναι εξοικειωμένοι με την υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφορικά με τις αντιλήψεις των μαθητών, τις οποίες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όταν διδάσκουν (Taber, 2001a) και να τις αξιοποιούν για την υποβοήθηση της μαθησιακής διαδικασίας.

Αυτή η απαίτηση υποδηλώνει καθαρά ότι οι εκπαιδευτικοί πρέπει, εξετάζοντας τη βιβλιογραφία, να ενημερώνονται σε ό,τι είναι γνωστό για τις αντιλήψεις των μαθητών και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να υποβοηθήσουν τη γνωστική διαδικασία. Η προσδοκία αυτή δε φαίνεται όμως να υλοποιείται και τα ερευνητικά ευρήματα δε μεταφράζονται εύκολα σε διδακτική πράξη, παρόλο που επανειλημμένα συζητήθηκε η δυναμική που εμπεριέχουν (Schmidt, 1997; Taber & Watts, 2000; Taber, 2001b; Valanides & Angeli, 2002). Με βάση την περιγραφή του de Jong (2000a), υπάρχει μια κύρια 'συστημική αποτυχία,' όπου η εμπειρική έρευνα στη μάθηση της χημείας δεν έχει εφαρμοστεί σύμφωνα με τις προσδοκίες των ερευνητών και τα ερευνητικά ευρήματα δεν έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στην πράξη (Costa, Marques & Kempa, 2000; Valanides, Nikolaidou & Eilks, 2003). Ένα πραγματικό και ακόμα μεγαλύτερο κενό υπάρχει μεταξύ έρευνας και των συγγραφέων των αναλυτικών προγραμμάτων. Η έρευνα δείχνει επίσης, ότι οι εκπαιδευτικοί της πράξης και οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί δεν είναι συνήθως ενήμεροι για τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση του περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών, και ότι και οι ίδιοι, σε πολλές περιπτώσεις, υιοθετούν εναλλακτικές αντιλήψεις που είναι παρόμοιες ή ταυτόσημες με εκείνες των μαθητών τους (de Jong, 2000b; Goodwin, 2000; Valanides, 2000a,b).

Ένας αποτελεσματικός τρόπος να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ έρευνας και διδακτικής πράξης και να βελτιωθεί η ενημέρωση των εκπαιδευτικών για την πραγματικότητα που επικρατεί στις τάξεις τους, ίσως να είναι η δική τους εμπλοκή σε έρευνες με κύριο προσανατολισμό την αναλυτική ερμηνεία των φαινομένων (Bencze & Hodson, 1999; Eilks & Ralle, 2002) ή σε προσεγγίσεις συνεργατικές και μαθητο-κεντρικές (Feldman, 1996; Park & Coble, 1997). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ερευνητές και εκπαιδευτικοί συνεργάζονται για τη διακρίβωση των εναλλακτικών αντιλήψεων των

μαθητών πριν από, αλλά και μετά, τη διδασκαλία. Το κύριο μέλημα δεν είναι απλώς η απарίθμηση των 'αφελών αντιλήψεων' των μαθητών, αλλά μάλλον ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των κατάλληλων μαθησιακών περιβαλλόντων, όπου οι μαθητές θα έχουν ευκαιρίες να ενσωματώνουν με λογικό τρόπο τη νέα γνώση στις προϋπάρχουσες γνώσεις και εμπειρίες τους, να ασκούν σκόπιμο και λογικό έλεγχο πάνω στις μαθησιακές δραστηριότητες, και να βιώνουν τη μάθηση ως μια διαδικασία δημιουργίας και επίλυσης προσωπικών καταστάσεων προβληματισμού που οδηγούν στην οικοδόμηση των δικών τους εννοιών και αντιλήψεων.

Αυτή η προσέγγιση φαίνεται να δίνει ελπίδες ότι πιθανόν οι εκπαιδευτικοί να ευαισθητοποιηθούν όσον αφορά την πραγματικότητα που επικρατεί στις τάξεις τους και τα αποτελέσματα της διδασκαλίας τους. Η έρευνα μέσα στο πλαίσιο του εποικοδομισμού έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τις γνώσεις των εκπαιδευτικών σε σχέση με το διδακτικό και παιδαγωγικό περιεχόμενο της διδασκαλίας, ανεξάρτητα από το θέμα οποιουδήποτε προγράμματος. Η βελτίωση αυτή αφορά τόσο την επιθυμία εξοικείωσης με αποτελεσματικούς τρόπους διδασκαλίας/μάθησης όσο και με την απόκτηση επάρκειας αναφορικά με τη διαμορφωτική αξιολόγηση και την αυτοαξιολόγηση των εκπαιδευτικών (van Driel κ.ά., 2001). Επίσης, οι συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων πρέπει να δομήσουν το περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων με βάση τα ευρήματα των ερευνητικών προσπαθειών έτσι που η μάθηση να οικοδομείται πάνω σε ό,τι οι μαθητές γνωρίζουν και μπορούν να παρατηρήσουν, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη κατανόηση. Αυτό προϋποθέτει ότι οι εκπαιδευτικοί πρέπει να είναι επίσης ενήμεροι για την πολυπλοκότητα των χημικών εννοιών και για το γεγονός ότι η ύλη μπορεί να παρατηρηθεί και να μελετηθεί στο μακρο-επίπεδο και ότι μπορεί επίσης να περιγραφεί στο μικρο-επίπεδο, ενώ οι χημικοί αναπαριστούν και τα δυο επίπεδα συμβολικά, με τη χρήση χημικών συμβόλων, τύπων και εξισώσεων (Gabel, 1999; Johnstone, 1991).

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια μικρής έκτασης έρευνα για τον τρόπο που οι μαθητές της τρίτης Λυκείου κατανοούν τις αλλαγές που συμβαίνουν σε μακρο-επίπεδο και μικρο-επίπεδο κατά την οξείδωση του χαλκού και την καύση του μαγνησίου, και τον τρόπο που κατανοούν τις ενεργειακές μεταβολές των δύο αντιδράσεων και τη σχέση της οξείδωσης του χαλκού με την αναγωγή του διοξειδίου του χαλκού.

## Μεθοδολογία

Στην έρευνα συνεργάστηκαν η καθηγήτρια χημείας της τάξης και ένας ερευνητής. Τα υποκείμενα της μελέτης ήταν μαθητές τρίτης Λυκείου επιστημονικής κατεύθυνσης, όπου τα κύρια μαθήματα είναι η Χημεία, η Φυσική και η Βιολογία. Οι μαθητές δευτε-

ροβάθμιας εκπαίδευσης στην Κύπρο μελετούν σε διάφορες τάξεις στο μάθημα της Χημείας το θέμα της οξειδωσης/καύσης και αναγωγής, χρησιμοποιώντας ποικιλία πειραμάτων, με μέταλλα και αμέταλλα στοιχεία, που είτε εκτελούν οι ίδιοι οι μαθητές είτε ο καθηγητής. Η οξειδωση και η καύση χρησιμοποιούνται για να γίνει εισαγωγή στα χημικά φαινόμενα και για να γίνει αντιπαραβολή τους με τα φυσικά φαινόμενα. Εκτός από τις γνώσεις που αποκτούν στο μάθημα της Χημείας, οι μαθητές έχουν πολλές εμπειρίες για το θέμα καύσης και από την καθημερινή τους ζωή και από τη διδασκαλία της Βιολογίας. Η καύση διάφορων αερίων, υγρών και στερεών σωμάτων (καύσιμα) είναι πηγή ενέργειας για μηχανές και συσκευές καθημερινής χρήσης. Οι αντιδράσεις οξειδωσης ή/και καύσης σχετίζονται επίσης με τον τρόπο που οι οργανισμοί παίρνουν ενέργεια από την τροφή, κάτι που συζητείται σε έκταση στο μάθημα της Βιολογίας.

Οι μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα μελέτησαν εκτεταμένα τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και εξήγησαν τις αντιδράσεις αυτές είτε ως αντιδράσεις με το οξυγόνο (στην πρώτη Λυκείου), είτε ως μεταβολές του αριθμού οξειδωσης (στην πρώτη και δευτέρα Λυκείου). Και τα δυο πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα (η θέρμανση χαλκού και η καύση του μαγνησίου) καθώς και οι αντίστοιχες αντιδράσεις και οι επεξηγήσεις τους είναι μέρος του αναλυτικού προγράμματος της Χημείας της πρώτης και δευτέρας Λυκείου. Οι μαθητές μελέτησαν επίσης σε έκταση και εκτέλεσαν πειράματα που αφορούσαν διάφορες χημικές αντιδράσεις, διακρίνοντας τις σε εξώθερμες και ενδόθερμες. Έγινε επίσης εισαγωγή (Β Λυκείου) της έννοιας της εσωτερικής ενέργειας, ως της συνολικής ενέργειας των διαφόρων μορφών ενέργειας που σχετίζονται με τα υποατομικά σωματίδια περιλαμβανομένης και της ενέργειας δεσμών, και εξηγήθηκε ότι μόνο οι αλλαγές στην εσωτερική ενέργεια μπορούν να μελετηθούν. Οποιαδήποτε χημική αντίδραση χαρακτηρίζεται ως ενδόθερμη ή εξώθερμη ανάλογα με την απορρόφηση ή την αποβολή ενέργειας κατά τη διάρκεια της αντίδρασης ή ανάλογα με τα προϊόντα της αντίδρασης που μπορεί να έχουν μεγαλύτερη ή μικρότερη εσωτερική ενέργεια από τα αντιδρώντα σώματα. Οι μαθητές της Β τάξης Λυκείου μελέτησαν και την έννοια της ενθαλπίας και εξέτασαν και υπολόγισαν τις μεταβολές της ενθαλπίας κατά τη διάρκεια των χημικών αντιδράσεων. Μελέτησαν επίσης διάφορα ενεργειακά διαγράμματα και το νόμο του Hess και, σε μερικές περιπτώσεις, και την ενέργεια ενεργοποίησης και τη διαφοροποίησή της από τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των χημικών αντιδράσεων.

Για τη συγκεκριμένη έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν 30 μαθητές τρίτης τάξης επιστημονικής κατεύθυνσης ενός λυκείου μιας αστικής περιοχής. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες, μαθητές με χαμηλή επίδοση (ΧΕ), με μέση επίδοση (ΜΕ) και υψηλή επίδοση (ΥΕ), με βάση την επίδοσή τους στο μάθημα της Χημείας του προηγούμενου χρόνου. Στη συνέχεια, επιλέγηκαν με τυχαίο τρόπο τρεις μαθητές από κάθε ομάδα και η καθηγήτριά τους διενήργησε συνεντεύξεις με τον καθένα χωριστά. Οι συνεντεύξεις είχαν διάρκεια 30-45 λεπτά, πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της χημείας και όλες οι συνεντεύξεις ολοκληρώθηκαν σε χρονική περίοδο δύο εβδομάδων, ανάλογα με τον ελεύθερο χρόνο που διέθεταν οι συμμετέχοντες μαθητές και η ερευνήτρια. Αρχικά ζητήθηκε από τον κάθε μαθητή να προβλέψει, πρώτο, τι θα συνέβαινε όταν θα θερμαινόταν ένα κομμάτι χάλκινο σύρμα ή ένα κομμάτι ταινίας μαγνησίτου και, δεύτερο, να εκτελέσει το αντίστοιχο πείραμα. Ύστερα από κάθε πείραμα, οι μαθητές έπρεπε να περιγράψουν και να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις τους, με βάση τις αλλαγές τόσο στο μακρο-επίπεδο όσο και το μικρο-επίπεδο. Υποβάλλονταν επίσης ερωτήσεις που αφορούσαν τη συνέπεια των προβλέψεων των μαθητών πριν από κάθε πείραμα και των παρατηρήσεων και επεξηγήσεών τους ύστερα από αυτό, τη διατήρηση της μάζας, την αναγωγή οξειδίου του χαλκού (πώς μπορούν να πάρουν τον χαλκό) και τις μεταβολές της ενέργειας λόγω της διάσπασης των χημικών δεσμών και της δημιουργίας νέων. Οι συνεντεύξεις ήταν ημι-δομημένες και μαγνητοφωνήθηκαν και απομαγνητοφωνήθηκαν για προσεκτική ανάλυση. Στο προκαταρκτικό στάδιο της έρευνας, διενεργήθηκαν ακόμα δύο συνεντεύξεις που αποτελούσαν την πιλοτική φάση της έρευνας. Τα αποτελέσματα της φάσης αυτής βοήθησαν στο να τροποποιηθούν και να απλοποιηθούν οι συνεντεύξεις, καθώς και στο να εξοικειωθεί η ερευνήτρια με τη διενέργεια συνεντεύξεων, τις δυνατότητες, τους περιορισμούς και τις αδυναμίες και τους τρόπους βελτίωσης της προσπάθειας.

## Αποτελέσματα

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει συνοπτικά τις απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Οι εννιά μαθητές χαρακτηρίζονται ως υψηλής επίδοσης (ΥΕ), μέσης επίδοσης (ΜΕ) και χαμηλής επίδοσης (ΧΕ) ανάλογα με το βαθμό που είχαν τον προηγούμενο χρόνο στη χημεία.

Πίνακας 1. Περίληψη Απαντήσεων των Μαθητών στις Ερωτήσεις της Συνέντευξης

Θέμα της συνέντευξης	Μαθητές								
	ΥΕ <sub>1</sub>	ΥΕ <sub>2</sub>	ΥΕ <sub>3</sub>	ΜΕ <sub>1</sub>	ΜΕ <sub>2</sub>	ΜΕ <sub>3</sub>	ΧΕ <sub>1</sub>	ΧΕ <sub>2</sub>	ΧΕ <sub>3</sub>
Πρόβλεψη της οξειδωσης του Cu	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	X	✓
Πρόβλεψη της οξειδωσης του Mg	✓	X	✓	✓	X	X	✓	X	X
Ορισμός οξειδωσης/καύσης	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Εξήγηση της χημικής αντίδρασης	X	A	X	A	X	X	X	X	A
Οξείδωση Cu									
Εξωθερμική αντίδραση	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Εξήγηση	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Καύση Mg									
Εξωθερμική αντίδραση	✓	✓	X	X	X	✓	X	X	✓
Εξήγηση	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Διατήρηση μάζας: Οξείδωση Cu	+	+	+	+	=	-	-	+	-
Διατήρηση μάζας: Καύση Mg	-	+	+	+	=	-	-	-	-
Αναγωγή CuO	X	✓	X	X	X	✓	W	✓	X

Σημείωση: ✓ = ορθή απάντηση, X = λανθασμένη απάντηση, = η μάζα του οξειδίου ισούται με τη μάζα του μετάλλου, - = η μάζα του οξειδίου μικρότερη από τη μάζα του μετάλλου, + = η μάζα του οξειδίου μεγαλύτερη από τη μάζα του μετάλλου, A = ατελής απάντηση

### Η καύση και η οξείδωση ως χημικές αντιδράσεις

Μερικοί μαθητές δεν ήταν σε θέση να προβλέψουν την οξείδωση του χαλκού (ΥΕ<sub>2</sub>, ΥΕ<sub>3</sub> και ΧΕ<sub>2</sub>) και την καύση του μαγνησίου (ΥΕ<sub>2</sub>, ΜΕ<sub>2</sub>, ΜΕ<sub>3</sub>, και ΧΕ<sub>3</sub>) παρόλο που είχαν διδαχθεί τις αντίστοιχες αντιδράσεις και είχαν κάνει σχετικά πειράματα στο μάθημα της χημείας τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερα λυκείου. Αντίθετα δήλωναν ότι η μόνη αλλαγή, μετά τη θέρμανση των μετάλλων, θα ήταν η αύξηση στη θερμοκρασία τους ή ότι τα μέταλλα θα έλιωναν, ανάλογα με τη θερμοκρασία τήξης τους. Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι τέσσερις μαθητές (ΥΕ<sub>3</sub>, ΜΕ<sub>2</sub>, ΜΕ<sub>3</sub>, και ΧΕ<sub>3</sub>) είχαν προβλέψει την οξείδωση του χαλκού (ΜΕ<sub>2</sub>, ΜΕ<sub>3</sub>, και ΧΕ<sub>3</sub>) ή και την καύση του μαγνησίου (ΥΕ<sub>3</sub>), αλλά όχι την οξείδωση/καύση του άλλου μετάλλου, είτε του μαγνησίου είτε του χαλκού, αντίστοιχα (Δεν έγινε καμιά προσπάθεια διάκρισης μεταξύ καύσης και οξείδωσης, γιατί κάτι τέτοιο δεν ήταν στους σκοπούς της μελέτης). Αυτές οι αντιφάσεις στον τρόπο σκέψης των μαθητών δε διορθώθηκαν ούτε μετά την εκτέλεση των

αντίστοιχων πειραμάτων. Φαίνεται ότι οι αντιφάσεις αυτές είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών αντιληπτικών ερεθισμάτων που προκύπτουν από τα δύο πειράματα κάτω που δηλώνει πως παρόμοιες διαδικασίες πιθανόν να μην προσλαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο από τους μαθητές ή από μη ειδικούς στο θέμα. Είναι επομένως αδύνατο να δικαιολογηθεί η προσδοκία ότι οι μαθητές θα μπορούσαν να συνδέσουν και να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσεις τους στο μακρο-επίπεδο με βάση τα δομικά στοιχεία της ύλης στο μικρο-επίπεδο και τον τρόπο διάταξης και συμπεριφοράς τους.

Όλοι οι μαθητές έδωσαν έναν, περισσότερο ή λιγότερο αποδεκτό, ορισμό της καύσης (ή της οξειδωσης), ως αντίδρασης με το οξυγόνο αναφέροντας και τη δημιουργία οξειδίου του μετάλλου ως προϊόντος της αντίδρασης. Η ορθότητα όμως των επεξηγήσεων τους δεν φαινόταν να σχετίζεται με τους βαθμούς τους στη Χημεία. Οι Boo και Watson (2001) υπέδειξαν ότι ακόμη και μαθητές που είχαν επιτύχει σε εθνικές ή ανώτερου επιπέδου εξετάσεις και οι οποίοι είχαν επιλέξει να σπουδάσουν χημεία απέτυχαν να κατανοήσουν βασικές έννοιες της χημείας. Οι επεξηγήσεις που έδιναν οι μαθητές σχετικά με τις δυο χημικές αντιδράσεις (οξειδωση του χαλκού και καύση του μαγνησίου) έδειξαν ότι οικοδόμησαν την έννοια της χημικής αντίδρασης με εντελώς προσωπικό τρόπο, ο οποίος σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν συμβατός με τη δηλωτική τους γνώση. Συχνά, η μάθηση των μαθητών είναι επιφανειακή και είναι πιθανόν να δίνουν ορθές απαντήσεις που δε χαρακτηρίζονται όμως από ουσιαστική εννοιολογική κατανόηση των φαινομένων (Krajcik, 1991).

Όταν ζητήθηκε από τους μαθητές να επεξηγήσουν τις δυο αντιδράσεις με βάση τα δομικά συστατικά της ύλης, τρεις μαθητές ( $YE_2$ ,  $ME_1$  και  $XE_2$ ) έδωσαν ημιτελείς ερμηνείες και οι υπόλοιποι εντελώς λανθασμένες. Οι απαντήσεις των μαθητών χαρακτηρίζονταν από εκτενή απομνημόνευση πληροφοριών και όχι πραγματική κατανόηση των σχετικών φαινομένων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η χημική αλλαγή θεωρήθηκε ως διαδικασία ανάμιξης διαφορετικών ειδών μορίων χωρίς να αλλάζουν οι βασικές τους ιδιότητες. Οι Harisson και Treagust (1996, 2000) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται τους χημικούς δεσμούς σαν φυσικούς συνδετικούς κρίκους μεταξύ ατόμων, και απέδωσαν αυτήν την τάση στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο μάθημα της χημείας, όπου τα άτομα παριστάνονται σαν σφαίρες και οι δεσμοί σαν πλαστικές ράβδοι που κρατούν τις σφαίρες μαζί. Ερευνητικά ευρήματα έδειξαν επίσης ότι, σε πολλές περιπτώσεις, οι μαθητές δυσκολεύονται να κάνουν σαφή διάκριση μεταξύ μειγμάτων/διαλυμάτων και χημικών ενώσεων (Elbenezer & Erickson, 1996). Τα προϊόντα μιας χημικής αντίδρασης, για παράδειγμα, θεωρήθηκαν ως μείγματα των αρχικών ουσιών και ο σχηματισμός των προϊόντων μιας χημικής αντίδρασης εκλήφθηκε ως διαδικασία πρόσθεσης ή συνένωσης των μορίων των αντιδρώντων σωμάτων, παρά ως διαδικασία στην οποία πραγμα-

τοποιείται 'σπάσιμο' των δεσμών των αρχικών σωμάτων και σχηματισμός νέων δεσμών. Συνεπώς το μόριο του προϊόντος της αντίδρασης δε θεωρήθηκε ως ένα νέο μόριο, αλλά ως ένα μείγμα των σωματιδίων των αρχικών σωμάτων και, κατά συνέπεια, οι αρχικές ουσίες διατηρούσαν τις ιδιότητές τους ή οι ιδιότητες του προϊόντος ήταν ένας συνδυασμός των ιδιοτήτων των αρχικών ουσιών (Elbenezer & Erickson, 1996; Meheut κ.ά., 1985; Valanides, 2000a, b). Αυτή η άποψη εκφράστηκε καθαρά από δυο μαθητές της ομάδας με υψηλές επιδόσεις.

*Ερευνητής (Ε) : Τι πραγματικά συνέβηκε για να και παραχθεί διοξείδιο του χαλκού; ΥΕ<sub>2</sub> : Προσθέτουμε οξυγόνο στο χαλκό. Ε: Τι εννοείς με το 'προσθέτουμε;' ΥΕ<sub>2</sub>: Ένα άτομο χαλκού και ένα άτομο οξυγόνου έρχονται σε επαφή και σχηματίζουν ένα δεσμό, όπου το άτομο του οξυγόνου δίνει δυο ηλεκτρόνια (!) στο άτομο του χαλκού. Ε: Ποιες είναι οι ιδιότητες του μαύρου υλικού που σχηματίστηκε πάνω στο χάλκινο σύρμα; ΥΕ<sub>2</sub>: Συνδυασμός των ιδιοτήτων του οξυγόνου και του χαλκού.*

*Ε: Τι εννοείς λέγοντας πως ο χαλκός οξειδώθηκε; ΥΕ<sub>1</sub>: Εννοώ ότι ο χαλκός έχει επιστρωθεί με οξυγόνο. Ε: Δηλαδή, τι συμβαίνει στην πραγματικότητα; ΥΕ<sub>1</sub>: Ο χαλκός αντιδρά με το οξυγόνο και παράγεται οξείδιο του χαλκού.*

Διάφοροι ερευνητές (Meheut κ.ά., 1985; Johnson, 2000) έδειξαν ότι συχνά οι μαθητές θεωρούν τις χημικές αντιδράσεις ως αλλαγές μόνο στην εμφάνιση της ύλης, παρόμοιες με τις φυσικές αλλαγές, όπως η τήξη και η εξάτμιση. Κατά συνέπεια, οι επεξηγήσεις των μαθητών δεν κάνουν σαφή διάκριση μεταξύ φυσικών και χημικών αλλαγών (BouJaoude, 1991, Valanides, 2000a, 2000b). Οι μαθητές υποστηρίζουν ακόμα ότι οι χημικές αλλαγές είναι μη αντιστρέψιμες και αυτή η γνώμη "μπορεί ακόμα να ενισχυθεί από την εκ των προτέρων περιορισμένη γνώση περί αντιστρεψιμότητας των φυσικών αλλαγών, όπως είναι οι αλλαγές στις καταστάσεις της ύλης" (Gabel, 1999:548). Άλλοι ερευνητές (Ahtee & Varjola, 1998; Johnson, 2002) ισχυρίζονται ότι η σαφής κατανόηση της δομής της ύλης και η σχέση της με τις μακροσκοπικές αλλαγές που παρατηρούνται αποτελεί προϋπόθεση για τη διάκριση των χημικών αλλαγών από τις φυσικές αλλαγές. Αυτό, βέβαια, προϋποθέτει την έγκαιρη εισαγωγή της δομής της ύλης και τη σύνδεση των μεταβολών (φυσικών και χημικών) των σωμάτων με τις αλλαγές που παρατηρούνται στη δομή της ύλης. Διαφορετικά, οι επεξηγήσεις και οι αντιλήψεις των μαθητών θα στηρίζονται αποκλειστικά στις καθημερινές τους εμπειρίες ή τις εμπειρίες τους στην τάξη (Stavridou & Solomonidou, 1998). Μπορεί να υποθεθεί ότι οι μαθητές πιθανόν να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση μακροσκοπικών αλλαγών ως αλλαγών στη δομή της ύλης, ιδιαίτερα όταν η εισαγωγή της δομής της ύλης γίνει σε μεταγενέστερο στάδιο, αφού η καθυστέρηση αυτή ενισχύει σταδιακά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών. Στην πραγματικότητα, η έρευνα έδειξε ότι η σχέση μεταξύ των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης και της μοριακής της φύσης δεν είναι σαφώς κατανοητή από τους μαθητές (Johnson,

1998) και δεν εκπλήσσει το γεγονός ότι οι μαθητές προεκτείνουν τις μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων δομικά συστατικά της ύλης (άτομα ή μόρια) (Anderson, 1990). Ισχυρίζονται, για παράδειγμα, ότι τα μόρια υφίστανται ταυτόσημες μεταβολές κατά τη διάρκεια φυσικών αλλαγών (τήξη και εξάτμιση) και χημικών μετασχηματισμών της ύλης (Lee κ.ά., 1993; Taber, 2001b; Valanides, 2000a, 2000b). Φαίνεται πως “ένα αναπάντητο ερώτημα είναι η ηλικία κατά την οποία τα παιδιά κατανοούν τα μοντέλα ατόμων και μορίων, καθώς επίσης και η διδακτική μεθοδολογία που πιθανόν να προσδίδει σημασία στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται” (Gabel, 1999:549).

### ***Ενεργειακές Μεταβολές κατά την Οξειδωση του Χαλκού και την Καύση του Μαγνησίου***

Η πλειοψηφία των μαθητών, παρόλο που είχαν διδαχθεί τα είδη των δεσμών και τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάσπαση και τη δημιουργία των δεσμών, απέτυχαν να επικαλεστούν αυτές τις ιδέες στους συλλογισμούς τους, για να προβλέψουν και να εξηγήσουν τις ενεργειακές μεταβολές των δύο αντιδράσεων. Όλοι οι μαθητές θεωρούσαν ότι, όταν ο χαλκός και το οξυγόνο αντιδρούν για να παραχθεί το οξείδιο του χαλκού, απορροφάται ενέργεια και ισχυρίζονταν ότι η αντίδραση είναι μια ενδόθερμη αντίδραση, με τη δικαιολογία ότι χωρίς θέρμανση δε θα μπορούσε να υπάρξει αντίδραση και να παραχθεί οξείδιο του χαλκού. Άλλοι ερευνητές (Krnel κ.ά., 1998; Novick & Nussbaum, 1978) ανέφεραν επίσης ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν για ποιο λόγο συμβαίνουν οι χημικές αντιδράσεις και θεωρούν ως την κύρια αιτία πρόκλησης μιας αντίδρασης τη θερμότητα, τις φλόγες, ή τη φωτιά. Η προσπάθεια να εντοπιστεί η αιτία των χημικών μεταβολών μπορεί να προκαλέσει σύγχυση όσον αφορά τις ενεργειακές μεταβολές. Ο Boo (1998) ανέφερε επίσης ότι αρκετές μελέτες επιβεβαίωσαν το γεγονός ότι οι μαθητές συνήθως δυσκολεύονται να ταξινομήσουν τις αντιδράσεις σε εξώθερμες ή ενδόθερμες. Για παράδειγμα, οι de Vos and Verdonk (1986) εντόπισαν ότι ακόμα και η καύση των κεριών θεωρείται σε ορισμένες περιπτώσεις ως ενδόθερμη αντίδραση, λόγω της αρχικής ανάφλεξης που απαιτείται για το αρχικό άναμμα ενός κεριού. Με ανάλογο τρόπο και η οξείδωση του χαλκού θεωρήθηκε ως ενδόθερμη, γιατί το οξείδιο σχηματίζεται μόνο ‘μετά τη θέρμανση του χαλκού στη φλόγα ενός λύχνου.’ Ο Boo (1998) ισχυρίστηκε ότι τα προβλήματα που σχετίζονται με την αποβολή ή την απορρόφηση ενέργειας σε μια αντίδραση είναι αποτέλεσμα ασαφούς κατανόησης των διαφορών μεταξύ ιοντικών, μεταλλικών και ομοιοπολικών δεσμών ή της αντίληψης ότι τόσο η διάσπαση όσο και η δημιουργία δεσμών χρειάζονται πάντοτε ενέργεια. Επίσης, οι Boo και Watson (2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πολλοί μαθητές, που είχαν

υψηλές επιδόσεις στη Χημεία, “αποτύγχαναν να διακρίνουν με ευκολία την κατεύθυνση της ενεργειακής μεταβολής, όταν οι δεσμοί διασπώνται και δημιουργούνται” (σ. 578). Φαίνεται ότι ακόμα και μαθητές, που διδάχθηκαν την ενέργεια ενεργοποίησης μιας χημικής αντίδρασης, τα ενεργειακά διαγράμματα και το νόμο του Hess, δυσκολεύονται να διακρίνουν μεταξύ ενδόθερμων και εξώθερμων αντιδράσεων και να διαφοροποιήσουν την ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης από τις ενεργειακές μεταβολές που τη συνοδεύουν.

Στην παρούσα μελέτη, οι μαθητές ισχυρίζονταν ότι χρειαζόταν ενέργεια α) για να τακεί ο χαλκός, γιατί η αντίδραση θα ήταν αδύνατη χωρίς την προηγούμενη τήξη του χαλκού, β) για να αυξηθεί η κινητική ενέργεια των δομικών συστατικών του χαλκού (ατόμων ή μορίων), ή να χαλαρώσουν οι ενδομοριακές δυνάμεις που υπήρχαν, ώστε αυτά τα δομικά σωματίδια να σχηματίσουν δεσμούς με το οξυγόνο, ή γ) να διασπαστούν οι δεσμοί των μορίων του οξυγόνου, ώστε τα άτομα να σχηματίσουν νέους δεσμούς με τα σωματίδια του χαλκού (άτομα ή μόρια). Προφανώς, η πλειοψηφία των μαθητών θεωρούσαν ότι εκτός από το οξυγόνο, και ο χαλκός και το μαγνήσιο αποτελούνται από μόρια (Garnett κ.ά., 1995; Taber, 2001b). Στις επεξηγήσεις τους επέμεναν επίσης ότι στις χημικές αντιδράσεις μόνο το ένα από τα αντιδρώντα σώματα, το μέταλλο ή το οξυγόνο, είχε δραστικό ρόλο, ενώ κατά την επιστημονική άποψη η χημική αντίδραση είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ίσων συμβαλλομένων μερών (Andersson, 1986). Το απόσπασμα που ακολουθεί δείχνει τον τρόπο σκέψης ορισμένων μαθητών και τις δυσκολίες τους να κατανοήσουν τις ενεργειακές μεταβολές σε μια χημική αντίδραση, αφού στην πραγματικότητα δεν περιορίζονται μόνο στην ενέργεια διάσπασης και σχηματισμού χημικών δεσμών που αποτελεί μέρος μόνο της συνολικής ενέργειας της αντίδρασης.

*Ερευνητής (Ε): Τι εννοείς λέγοντας ότι έγινε αντίδραση μεταξύ χαλκού και οξυγόνου; ΥΕ<sub>1</sub>: Το οξυγόνο επηρεάζει το χαλκό. Ε: Τι εννοείς; ΥΕ<sub>1</sub>: Το οξυγόνο επηρεάζει τις ιδιότητες του χαλκού, αλλάζει το χαλκό σε κάποιο άλλο σώμα ή ενώνεται με το χαλκό.*

Παρόλο που η καύση του μαγνησίου συνοδευόταν από εκτυφλωτικό άσπρο φως και παρά τις πολλές καθημερινές εμπειρίες των μαθητών για το φαινόμενο της καύσης, οι περισσότεροι δεν είχαν συνδέσει την παραγωγή φλόγας με την ταυτόχρονη απελευθέρωση θερμότητας. Η εκτυφλωτική άσπρη φλόγα που συνόδευε την καύση της ταινίας μαγνησίου καθοδήγησε μόνο τέσσερις μαθητές (ΥΕ<sub>1</sub>, ΥΕ<sub>2</sub>, ΜΕ<sub>3</sub>, και ΧΕ<sub>3</sub>) που υποστήριξαν ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη. Οι υπόλοιποι υποστήριξαν ότι και η αντίδραση καύσης του μαγνησίου είναι ενδόθερμη αντίδραση, οι δε εξηγήσεις που έδιναν ήταν ανάλογες με αυτές που είχαν δώσει στην αντίδραση του χαλκού με το οξυγόνο. Οι μαθητές αυτοί δεν μπορούσαν να κατανοήσουν ότι ο σχηματισμός ιοντικού δεσμού μεταξύ μαγνησίου και οξυγόνου συνοδεύεται με εκπομπή ενέργειας και

ότι το εκτυφλωτικό φως ήταν ένδειξη μιας εξώθερμης αντίδρασης. Είναι επομένως φανερή η ελλιπής κατανόηση των διαφορών μεταξύ των διαφόρων ειδών δεσμών (του ιοντικού, μεταλλικού και ομοιοπολικού) και ο διαχωρισμός των ουσιών με διαφορετικά είδη δεσμών (Butts & Smith, 1987; Boo, 1998; Taber, 2001b). Υποστήριζαν επομένως ότι η φλόγα, η οποία ήταν η αιτία για την αντίδραση μεταξύ χαλκού (ή μαγνησίου) και οξυγόνου, απορροφούσε θερμότητα, επειδή το οξείδιο σχηματίζεται μόνον όταν το μέταλλο θερμαίνεται. Οι μαθητές παρατήρησαν την έντονη εκτυφλωτική φλόγα κατά την ανάφλεξη του μαγνησίου, αλλά στα συμπεράσματα τους καθοδηγήθηκαν από το γεγονός ότι η ταινία μαγνησίου για να αντιδράσει με το οξυγόνο αρχικά θερμαίνεται και μόνο λίγοι μαθητές κατέληξαν σε σωστά συμπεράσματα. Προφανώς, υπήρχε διάσταση μεταξύ σωστών παρατηρήσεων και 'σωστών' εξηγήσεων. Οι μαθητές, ενώ παρατήρησαν την εκτυφλωτική φλόγα που συνοδεύει την καύση του μαγνησίου, χαρακτήρισαν την αντίδραση ως ενδόθερμη γιατί στη σκέψη τους κυριαρχούσε το γεγονός ότι αρχικά θερμάνθηκε το μέταλλο. Συνεπώς, κανένας μαθητής δεν ήταν ικανός να χρησιμοποιήσει το επιστημονικό θεωρητικό υπόβαθρο ότι ο δεσμοί που σχηματίζονται είναι ενεργειακά σταθερότεροι και επομένως μικρότερης ενέργειας από τους δεσμούς που διασπώνται, και ότι "οι χημικές αντιδράσεις καθοδηγούνται από την αύξηση της εντροπίας στο σύμπαν" (Boo & Watson, 2001), με αποτέλεσμα να αναζητούν άλλον αιτιώδη παράγοντα για την αντίδραση.

Η προσεκτική ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών έδειξε ότι δεν απέκτησαν ολοκληρωμένη κατανόηση της χημικής αντίδρασης. Οι εξηγήσεις τους ήταν χωρίς συνέπεια και συνοχή και καθοδηγούνταν από τις ορατές μεταβολές των φαινομένων που μελετούσαν. Από τις απαντήσεις των μαθητών για τις ενεργειακές μεταβολές των χημικών αντιδράσεων, φαίνεται ότι κυριαρχούσαν οι ακόλουθες εναλλακτικές αντιλήψεις:

- Μερικοί μαθητές δε διέκριναν τα χημικά από τα φυσικά φαινόμενα (Meheut κ.ά., 1985; BouJaoude, 1991). Δεν κατανοούσαν επομένως ότι η χημική αντίδραση είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει 'σπάσιμο' των δεσμών και σχηματισμός νέων με αποτέλεσμα οι αρχικές ουσίες να μετατρέπονται σε νέες ουσίες, εντελώς διαφορετικές (Meheut κ.ά., 1985; Johnson, 2000). Ήταν επομένως αδύνατο να κατανοήσουν ότι, παρόλο που "τα άτομα τα οποία συμμετέχουν στην αντίδραση διατηρούνται, η ανακατάταξη των ηλεκτρονίων τους" (Boo & Watson, 2001:578) δίνει προϊόντα που δεν έχουν πλέον τις ίδιες ιδιότητες με τα αντιδρώντα σώματα.
- Η πλειοψηφία των μαθητών είχε λανθασμένες αντιλήψεις για τις ενεργειακές μεταβολές που συνοδεύουν τον σχηματισμό ή τη διάσπαση των δεσμών. Σύμφωνα με τους μαθητές αυτούς τόσο κατά το 'σπάσιμο' των δεσμών όσο και κα-

τά το σχηματισμό νέων δεσμών καταναλώνεται ενέργεια. Κανέννας δεν είχε την αντίληψη ότι ο σχηματισμός των δεσμών μπορεί να συνοδεύεται με απελευθέρωση ενέργειας.

- Οι μαθητές δεν είχαν συσχετίσει τις ενεργειακές μεταβολές των αντιδράσεων με την ενέργεια των δεσμών τόσο των αντιδρώντων σωμάτων όσο και των προϊόντων της αντίδρασης, και έτσι απέτυχαν να αναγνωρίσουν τις ενεργειακές μεταβολές των δύο αντιδράσεων που μελέτησαν και να τις χαρακτηρίσουν ως εξώθερμες αντιδράσεις.
- Στις εξηγήσεις τους χρησιμοποιούσαν εναλλακτικά τους όρους σωματίδια, άτομα και μόρια, χωρίς να διαφοροποιούν τα σωματίδια αυτά και να τα συνδέουν με την πραγματική σύσταση της ύλης στην οποία αναφέρονταν. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους μαθητές αυτούς, τα μέταλλα (χαλκός και μαγνήσιο) αποτελούνται από μόρια (Lee κ.ά., 1993; Taber, 2001b; Valanides, 2000a, 2000b).

Παρόλο που οι μαθητές είχαν διδαχθεί τα ενεργειακά διαγράμματα, στήριζαν τα συμπεράσματά τους στις φαινομενικές αλλαγές που παρατηρούσαν στις δύο αντιδράσεις και αναπόφευκτα χρησιμοποιούσαν αρκετές εναλλακτικές αντιλήψεις, αφού η κατανόηση σε ατομικό-μοριακό επίπεδο (μικρο-επίπεδο) δεν είναι εύκολο να εξαχθεί συμπερασματικά από τις ορατές παρατηρήσεις (μακρο-επίπεδο) που συνοδεύουν ένα χημικό φαινόμενο. Μερικοί ερευνητές (Johnstone, 1991; Gabel, 1999) αποδίδουν τις ιδέες των μαθητών στην ύπαρξη τριών επιπέδων μελέτης της ύλης. Από αυτήν την άποψη, η ύλη μπορεί να μελετηθεί σε μακρο-επίπεδο και μπορεί επίσης να περιγραφεί και σε μικρο-επίπεδο, ενώ οι χημικοί παρουσιάζουν και τα δύο επίπεδα συμβολικά, χρησιμοποιώντας χημικά σύμβολα, τύπους, και χημικές εξισώσεις. Αυτός ο τριπλός τρόπος παρουσίασης της ύλης δεν είναι πλήρως κατανοητός από τους εκπαιδευτικούς οι οποίοι, κατά τη διδασκαλία της χημείας, μετακινούνται ασυναίσθητα και συχνά από το ένα επίπεδο στο άλλο, ή κρατούν τη διδασκαλία της χημείας στο αφηρημένο επίπεδο των συμβόλων, τύπων και χημικών εξισώσεων, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή επικοινωνία με τους μαθητές, αφού η σύνδεση και η ουσιαστική ερμηνεία των μακροσκοπικών παρατηρήσεων των μαθητών είναι δύσκολη ή εντελώς αδύνατη.

### **Μεταβολές των μαζών κατά την οξείδωση του χαλκού και την καύση του μαγνησίου**

Παρόλο που οι περισσότεροι μαθητές εξήγησαν με ικανοποιητικό τρόπο τον ορισμό της οξείδωσης του χαλκού και της καύσης του μαγνησίου, και καθόρισαν τον ρόλο του οξυγόνου στις δύο αντιδράσεις, εντούτοις ένας σημαντικός αριθμός μαθητών

δεν μπορούσε να προβλέψει τις αλλαγές στις μάζες των δύο μετάλλων και οι απαντήσεις τους έδειχναν ότι δεν είχαν κατανοήσει το νόμο της αφθαρσίας της ύλης. Αντίθετα προς τους ορισμούς που είχαν δώσει, τρεις μαθητές (ME<sub>3</sub>, XE<sub>1</sub>, και XE<sub>3</sub>) υποστήριξαν ότι η μάζα του CuO ή του MgO ήταν μικρότερη από την αρχική μάζα του χαλκού ή του μαγνησίου και ένας μαθητής (ME<sub>2</sub>) υποστήριξε ότι η αρχική μάζα του μετάλλου (χαλκού ή μαγνησίου) ήταν ίση με τη μάζα του παραγομένου οξειδίου (CuO ή MgO). Δύο ακόμη μαθητές (YE<sub>1</sub> και XE<sub>2</sub>) υποστήριξαν ότι η μάζα του MgO ήταν μικρότερη από την αρχική μάζα του μετάλλου (Mg) και απέδωσαν την ελάττωση της μάζας σε διάφορους λόγους. Αυτό δείχνει ότι οι μαθητές αυτοί δεν κατανοούσαν τη διατήρηση της μάζας στα χημικά φαινόμενα και ότι η σκέψη τους στηριζόταν αποκλειστικά στις ορατές παρατηρήσεις των δύο αντιδράσεων.

Όταν οι μαθητές ρωτήθηκαν να διευκρινίσουν τις απαντήσεις τους, έδωσαν εξηγήσεις ασύμβατες (αντιφατικές) προς τις αποδεχτές χημικές ερμηνείες (Gomez κ.ά., 1995), αφού προσπαθούσαν να εξηγήσουν μόνο τις ορατές και αντιληπτές αλλαγές. Οι μαθητές που προέβλεψαν ελάττωση της μάζας ως αποτέλεσμα της οξειδωσης ή της καύσης, την απέδιδαν είτε στην αντικατάσταση των ατόμων των μετάλλων από άτομα οξυγόνου, τα οποία θεωρούσαν ελαφρότερα από τα άτομα των στερεών μετάλλων, ή στο γεγονός ότι η καύση “καταστρέφει” τα υλικά σώματα μετατρέποντας τα υλικά σε αέρια, “στάχτες” ή απλώς “εξαφανίζοντας” την ύλη (BouJaoude, 1991; Nakhleh, 1992). Τα ακόλουθα αποσπάσματα από τις συνεντεύξεις είναι αντιπροσωπευτικά των απαντήσεων των μαθητών σχετικά με τις μεταβολές της μάζας κατά την οξειδωση ή την καύση:

*Ερευνητής (E): Αν συγκρίνεις τη μάζα του σύρματος του χαλκού πριν και μετά τη θέρμανση, ποιο θα είναι το αποτέλεσμα; XE<sub>1</sub>: Μετά τη θέρμανση η μάζα θα είναι μικρότερη. E: Γιατί νομίζεις θα είναι μικρότερη; Ti θα έχει αλλάξει; XE<sub>1</sub>: Αρχικά ήταν μόνο χαλκός, αλλά τώρα υπάρχει και οξυγόνο, και το οξυγόνο δεν είναι τόσο ‘βαρύ’ όσο ο χαλκός. Το οξυγόνο είναι ελαφρότερο από το στερεό μέταλλο. Τα μόρια... πιθανώς τα άτομα του οξυγόνου...αντικατέστησαν τα μόρια ή τα άτομα του χαλκού. E: Τι έχουμε τώρα στην επιφάνεια του σύρματος; XE<sub>1</sub>: Υπάρχει οξείδιο του χαλκού, για αυτό και είναι μαύρο. E: Ναι, αλλά γιατί η μάζα είναι μικρότερη τώρα; XE<sub>1</sub>: Γιατί έχει οξυγόνο που έχει μικρότερη μάζα.*

*E: Γιατί νομίζεις ότι η μάζα του σύρματος του χαλκού είναι μικρότερη μετά τη θέρμανση; ME<sub>3</sub>: Κάποια μάζα του χαλκού έχει καεί ... η θέρμανση την έχει κάψει και την έχει εξαφανίσει. E: Τι εννοείς; O χαλκός έχει εξαφανιστεί γιατί έχει θερμανθεί; ME<sub>3</sub>: Όχι, αλλά το έχει αλλάξει σε κάτι άλλο που πηγαίνει στην ατμόσφαιρα.*

*E: Υποθέτουμε ότι αρχικά ζύγισες την ταινία μαγνησίου και ζύγισες επίσης το άσπρο στερεό προϊόν μετά τη θέρμανση, ποιο θα είναι το αποτέλεσμα; ME<sub>3</sub>: Η μάζα του οξειδίου του μαγνησίου θα είναι μικρότερη. E: Γιατί; Πώς το εξηγείς αυτό; ME<sub>3</sub>: Γιατί το μαγνήσιο κάηκε και ...εξαφανίστηκε στον αέρα και μόνο στάχτη έμεινε εδώ.*

Ένας μαθητής (ΧΕ<sub>2</sub>) θεώρησε ως αιτία την παρατήρησή του ότι, μετά την θέρμανση, η πυκνότητα της 'στάκτης' (οξειδίο μαγνησίου) είναι μικρότερη και επομένως και η μάζα θα είναι μικρότερη. Ο μαθητής δεν μπορούσε να διαχωρίσει τη μάζα (βάρος) από την πυκνότητα και υποστήριζε λανθασμένα συμπεράσματα (e.g. Krikel κ.ά., 1998). Φαίνεται ότι η πυκνότητα είναι περισσότερο θεμελιώδης έννοια όταν προκύπτει από ένα εμφανές αποτέλεσμα, παρόλο που έχουμε την τάση να διδάσκουμε την πυκνότητα ως παραγόμενη έννοια (συνάρτηση). Ένας άλλος μαθητής (ΥΕ<sub>1</sub>) είχε την αντίληψη ότι μετά την θέρμανση της ταινίας μαγνησίου, εκτός από την άσπρη ουσία ή 'στάκτη' (MgO), παράγεται και αέρια ουσία η οποία διαφεύγει στον αέρα. Δεν ήταν όμως σε θέση να προσδιορίσει ούτε τη φύση της αέριας ουσίας που ελευθερώνεται ούτε της 'στάκτης.' Οι ιδέες του φαίνεται ότι ήταν αποτέλεσμα των παρατηρήσεών του από καύσεις άλλων σωμάτων, όπως αυτές που παρατηρούνται συχνά στην καθημερινή μας ζωή (π.χ. καύση στερεών, υγρών ή αερίων και παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κ.λ.π.) .

*E: Γιατί νομίζεις ότι η μάζα είναι μικρότερη τώρα; (μετά την καύση της ταινίας μαγνησίου) (ΥΕ<sub>1</sub>): Το προϊόν έχει μικρότερη μάζα. Πολλά μόρια μαγνησίου αντιδρούν με οξυγόνο και δεν είναι πια στο προϊόν. E: Πού είναι τώρα; (ΥΕ<sub>1</sub>): Είναι στον αέρα.. E: Πώς νομίζεις συνέβηκε αυτό; (ΥΕ<sub>1</sub>): Είδα ότι η φλόγα ήταν... τόσο φωτεινή. Και έτσι σκέφτηκα ότι για να γίνει αυτό, το μέταλλο αντιδρά με το οξυγόνο.... και μετά τα αέρια.... από τη φλόγα κατέληξαν στον αέρα.*

Ένας άλλος μαθητής (ΜΕ<sub>2</sub>) πίστευε ότι δεν υπήρχε καμιά μεταβολή στη μάζα του μετάλλου (Cu ή Mg) μετά τη θέρμανσή του. Ο μαθητής εξήγησε σωστά τις χημικές μεταβολές, αλλά προφανώς έδινε πληροφορίες που απομνημόνευσε, χωρίς όμως να κατανοεί το βαθύτερο νόημά τους. Ο μαθητής αγνοούσε το ρόλο του αερίου οξυγόνου στη διαδικασία της οξείδωσης /καύσης, αφού το αέριο οξυγόνο δεν είναι ορατό ή παρατηρήσιμο. Θεωρούσε την εμφάνιση του μαύρου χρώματος στο χαλκό ως αποτέλεσμα τη φλόγας που χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση του χαλκού και όχι ως αποτέλεσμα της αντίδρασης του χαλκού με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και το σχηματισμό οξειδίου του χαλκού με διαφορετικό (μαύρο) χρώμα και διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Ο ίδιος μαθητής θεωρούσε επίσης ότι η 'καύση' του μαγνησίου ήταν μια φυσική μεταβολή κατά την οποία το μαγνήσιο άλλαξε την εμφάνισή του επειδή θερμάνθηκε.

*E: Νομίζεις ότι η μάζα του σύρματος του χαλκού, πριν και μετά τη θέρμανση, είναι διαφορετική; ΜΕ<sub>2</sub>: Όχι, είναι η ίδια. Δεν έχω δει κάτι να απομακρύνεται από αυτή. E: Η μαύρη ουσία που είναι στο σύρμα ... Αν υποθέσουμε ότι την απομακρύνω από το σύρμα, ποια θα είναι τότε η μάζα του σύρματος; ΜΕ<sub>2</sub>: Η μάζα θα είναι ίδια. Η μάζα δε θα είναι διαφορετική, γιατί η αλλαγή είναι μόνο στο χρώμα από την αιθάλη της φλόγας.*

*E: Αν συγκρίνουμε τη μάζα της ταινίας μαγνησίου με τη μάζα του λευκού υπολείμματος (MgO), ποιο νομίζεις θα είναι το αποτέλεσμα; ΜΕ<sub>2</sub>: Οι δύο μάζες θα είναι οι ίδιες. E: Γιατί νομίζεις ότι*

θα είναι οι ίδιες; ME<sub>2</sub>: Η μάζα διατηρείται ... απλά υπάρχει διατήρηση της μάζας σε μια χημική αντίδραση. E: Ναι, αλλά εξήγησες προηγουμένως ότι συμβαίνει καύση του μαγνησίου στην περίπτωση αυτή; ME<sub>2</sub>: Σωστά, αλλά όπως βλέπεις .... το μαγνήσιο άλλαξε και έγινε 'στάκτες' ... εννοώ αυτό το λευκό υλικό. Το μαγνήσιο επειδή θερμάνθηκε άλλαξε μορφή, αλλά η μάζα του δεν άλλαξε, απλά υπάρχει διατήρησή της.

Οι αντιδράσεις της οξειδωσης/καύσης εισάγονται πολύ νωρίς στα εισαγωγικά μαθήματα χημείας και χωρίς να έχουν προηγουμένως διδαχθεί προαπαιτούμενες έννοιες. Είναι επομένως δυνατό να υποθεθεί ότι ορισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετίζονται άμεσα με τις εμπειρίες αυτές ή άλλες εμπειρίες καύσης διαφόρων ουσιών που σχετίζονται με την καθημερινή ζωή. Οι μαθητές μπορούν εύκολα να οδηγηθούν στο συμπέρασμα ότι όλες οι χημικές αντιδράσεις δεν είναι αντιστρέψιμες ή ότι συνδέονται με "εξαφάνιση" ή "καταστροφή" της ύλης και μείωση της μάζας των σωμάτων που συμμετέχουν σε μία χημική αντίδραση. Με ανάλογο τρόπο, οι μαθητές φαίνεται να αγνοούν τη μάζα των αερίων που συμμετέχουν ή παράγονται, αφού, κατά τη δική τους αντίληψη, τα αέρια δεν έχουν μάζα ή έχουν λιγότερη μάζα σε σχέση με την υγρή και στερεά κατάσταση της ύλης. Διάφοροι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές θεωρούν ότι ακόμα και κατά την καύση της αλκοόλης απελευθερώνονται αέρια, επειδή η αλκοόλη είναι πτητική και όχι επειδή παράγονται αέρια κατά την καύση της αλκοόλης (Boujaoude, 1991; Ahtee & Varjola, 1998).

### **Αναγωγή του οξειδίου του χαλκού (CuO)**

Όλοι σχεδόν οι μαθητές έδωσαν ορθούς ορισμούς για την οξείδωση και αναγωγή θεωρώντας την πρώτη αντίδραση ως ένωση με το οξυγόνο και τη δεύτερη ως αφαίρεση οξυγόνου από μία χημική ένωση. Με ευκολία επίσης, όλοι σχεδόν οι μαθητές έγραψαν με ορθό τρόπο της αντιδράσεις οξείδωσης του χαλκού και καύσης του μαγνησίου συμπληρώνοντας με ορθό τρόπο τους αριθμητικούς συντελεστές των αντίστοιχων αντιδράσεων. Όταν όμως υποβλήθηκε η ερώτηση για τη δυνατότητα παραγωγής χαλκού από το οξείδιό του, μόνο δύο μαθητές θεώρησαν δυνατό ότι μπορεί να αφαιρεθεί το οξυγόνο από το οξείδιο (αναγωγή). Από αυτούς μόνο ο ένας έδωσε ικανοποιητική απάντηση, εξηγώντας ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ηλεκτροθετικότερο στοιχείο ή μέταλλο (π.χ. υδρογόνο ή ψευδάργυρος). Οι υπόλοιποι υποστήριξαν ότι οι χημικές αντιδράσεις δεν είναι "αντιστρέψιμες" ή πρότειναν πολύπλοκες και λανθασμένες χημικές διαδικασίες που δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν, όπως φαίνεται από το απόσπασμα της συνέντευξης με ένα μαθητή με υψηλή επίδοση (ΥΕ<sub>1</sub>).

*Ε: Μπορούμε να πάρουμε καθαρό χαλκό από το οξείδιο του χαλκού; ΥΕ1: Για να γίνει αυτό πρέπει να διαχωρίσουμε το χαλκό από το οξυγόνο ... Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα, υδροξείδιο του νατρίου ... θα πάρουμε τότε υδροξείδιο του χαλκού και ... με την προσθήκη νιτρικού οξέος θα πάρουμε νιτρικό χαλκό, που είναι ιοντική ένωση. Χρησιμοποιώντας τότε νερό μπορούμε να πάρουμε ... καθαρό χαλκό.*

Τα αποτελέσματα αυτά συνηγορούν με την άποψη, που έχει ήδη εκφραστεί, ότι οι υψηλές επιδόσεις των μαθητών στη χημεία δε συνδέονται πάντοτε με εννοιολογική κατανόηση των θεμάτων που διδάσκονται, αφού οι επιδόσεις αυτές σχετίζονται με το είδος της αξιολόγησης που χρησιμοποιούν οι εκπαιδευτικοί και που απαιτεί συνήθως απομνημόνευση πληθώρας πληροφοριών και αλγοριθμικούς υπολογισμούς.

## Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η οξειδωση / καύση αποτελεί ένα πολύ δυσκολότερο θέμα για τους μαθητές σε σύγκριση με αυτά που αποδέχονται πολλοί εκπαιδευτικοί, συγγραφείς σχολικών εγχειριδίων και αναλυτικών προγραμμάτων. Είναι επίσης φανερό ότι οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης οικοδομούν την έννοια της οξειδωσης / καύσης ή γενικότερα την έννοια της χημικής αντίδρασης με ένα εντελώς προσωπικό τρόπο (Stavridou & Solomonidou, 1998) που διαφέρει από τις αποδεκτές επιστημονικές αντιλήψεις. Οι απαντήσεις των μαθητών φανέρωναν επίσης ότι οι μαθητές διδάχτηκαν τις έννοιες αυτές, αφού ανακαλούσαν εκτεταμένη δηλωτική γνώση και πληροφορίες τις οποίες όμως δεν κατανοούσαν. Η κατανόηση των μαθητών για τις έννοιες που εξετάστηκαν δεν παρουσίαζε συνοχή και συνέπεια, ενώ είχε έντονη την επίδραση των αντιληπτικών ερεθισμάτων τα οποία συνόδευαν τα φαινόμενα που τους ζητήθηκε να εξηγήσουν (Boo, 1998; Boo & Watson, 2001). Οι χημικές εξισώσεις που αποδίδουν αυτές τις χημικές αντιδράσεις και οι λεκτικές εξηγήσεις που τις συνοδεύουν αποτελούν απλά “αδρανή γνώση.” Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε όσες περιπτώσεις οι εκπαιδευτικοί δε συνυπολογίζουν και δεν καλλιεργούν την “εννοιολογική οικολογία” της χημείας την οποία οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν (Yaroch, 1985; Hesse & Anderson, 1992).

Οι περισσότερες έννοιες που διδάσκονται στη χημεία έχουν εντελώς αφηρημένο χαρακτήρα και πολύπλοκη φύση. Η εννοιολογική κατανόηση των εννοιών αυτών είναι δύσκολο και σύνθετο εγχείρημα για τους μαθητές, ενώ η διαδικασία αυτή αποτελεί δύσκολη διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής που σχετίζεται με αρκετές έννοιες οι οποίες συνθέτουν και συναποτελούν τη δική τους εννοιολογική οικολογία. Οι προσεκτικές παρατηρήσεις των μαθητών δεν μπορούν να οδηγήσουν με ευκολία στα αποδεκτά συμπεράσματα και οι δυσκολίες αυτές οδηγούν τους μαθητές στη γνωστική

στρατηγική της απομνημόνευσης εκτεταμένης και αδρανούς γνώση. Οι δυσκολίες έχουν ασφαλώς άμεση σχέση με τα τρία επίπεδα αναπαράστασης, περιγραφής και ερμηνείας της ύλης (μακρο-επίπεδο, μικρο-επίπεδο, συμβολικό-επίπεδο) και των χημικών μετασχηματισμών της (Johnstone, 1992). Οι μαθητές, για παράδειγμα, κάνουν παρατηρήσεις στο μακρο-επίπεδο, αλλά οι εκπαιδευτικοί απαιτούν συνήθως ή αναμένουν τους μαθητές να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσεις τους στο μικρο-επίπεδο, αφού η ερμηνεία των χημικών φαινομένων στηρίζεται στην αόρατη συμπεριφορά των δομικών συστατικών της ύλης. Αναμένεται επίσης από τους μαθητές να έχουν καλές επιδόσεις στο συμβολικό επίπεδο που κυριαρχεί στη διδακτική διαδικασία αλλά και την αξιολόγηση των μαθητών.

Αναδεικνύονται έτσι σημαντικά ζητήματα διδασκαλίας και μάθησης. Είναι ασφαλώς αδύνατο για τους μαθητές να κατανοήσουν τις χημικές μεταβολές χωρίς προηγούμενη κατανόηση των πληροφοριών που σχετίζονται με τις χημικές ιδιότητες των υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται και χωρίς να προηγηθεί η κατανόηση των βασικών θεωριών που ερμηνεύουν τη χημική συμπεριφορά της ύλης και κυρίως την ατομική / μοριακή θεωρία. Οι κύριες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετίζονται άμεσα με τα αντιδρώντα σώματα ή τα προϊόντα μιας αντίδρασης, την ερμηνεία των χημικών μεταβολών, τους μετασχηματισμούς της ύλης και τις ενεργειακές μετατροπές που είναι ασυμβίβαστες με την ατομική / μοριακή θεωρία που κυριαρχεί στην ερμηνεία των χημικών φαινομένων και πολλών βιολογικών και φυσικών φαινομένων. Η μετάβαση από την ερμηνεία της οξειδωσης / καύσης με βάση την πρόσληψη / αποβολή οξυγόνου στην ερμηνεία με βάση την πρόσληψη / αποβολή ηλεκτρονίων, που επιχειρείται καθώς οι μαθητές προχωρούν σε μεγαλύτερες τάξεις (στη συγκεκριμένη περίπτωση από την Α στη Β Λυκείου), δε φαίνεται να οδηγεί σε βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση του φαινομένου της οξειδωσης / καύσης, αλλά ότι δημιουργεί εννοιολογικά κενά και δυσκολίες στη σκέψη των μαθητών (Schmidt, 1997).

Δυστυχώς, οι εκπαιδευτικοί δε συνειδητοποιούν την ανάγκη να συνυπολογίζουν τις αντιλήψεις των μαθητών στη διδασκαλία τους (BouJaoude, 1991; Valanides, 2000 a, b; Valanides et al., 2003) και αδυνατούν να βοηθήσουν τους μαθητές τους να κατανοήσουν τη σχέση και τις διαφορές μεταξύ των τριών επιπέδων αναπαράστασης της ύλης και των χημικών μετασχηματισμών της. Αυτή η αδυναμία οδηγεί σε αποσπασματική θεώρηση της χημείας με προβληματικά 'τμήματα' γνώσης που φαίνεται ότι δεν εναρμονίζονται μεταξύ τους (Gabel, 1999:549). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι εκπαιδευτικοί μετακινούνται ανεπαίσθητα από το ένα επίπεδο αναπαράστασης στο άλλο, θεωρώντας ότι η ευθύνη τους περιορίζεται μόνο στην ενημέρωση των μαθητών με τις ορθές επιστημονικές αντιλήψεις, με ακρίβεια, ενθουσιασμό και μεθοδικότητα. Περιορίζονται επομένως στην απλή διανομή 'κονσερβοποιημένης γνώσης'

στους μαθητές τους. Αντίθετα με αυτή την προσέγγιση, ο εντοπισμός και η αξιοποίηση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για τα χημικά φαινόμενα και την ύλη παρέχει την δυνατότητα να βελτιωθεί το μαθησιακό περιβάλλον και τα αποτελέσματα της διδασκαλίας (Garnett κ.α., 1995; Schmitt, 1997). Η προσεκτική ενημέρωση των μαθητών και η καθοδήγησή τους να αντιληφθούν τη σχέση και τη σημασία των τριών επιπέδων αναπαράστασης της ύλης και των χημικών μετασχηματισμών της, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των παρατηρήσεων και των εμπειριών των μαθητών και των επιστημονικών ερμηνειών που προσφέρουν και στην εννοιολογική κατανόηση των φαινομένων και των τριών επιπέδων αναπαράστασης της ύλης και των χημικών μετασχηματισμών της. Οι εκπαιδευτικοί και οι συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων και σχολικών εγχειριδίων πρέπει απαραίτητα να συνυπολογίζουν τις βαθύτερες αντιλήψεις των μαθητών για τις χημικές αντιδράσεις, όπως οι οξειδώσεις / καύσεις. Πρέπει ταυτόχρονα να αξιοποιούν διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματισμούς που αποσταθεροποιούν τις υπάρχουσες μαθητικές αντιλήψεις προκαλώντας γνωστικές ή κοινωνικο-γνωστικές συγκρούσεις. Η χρησιμοποίηση φαινομένων ή πειραμάτων που εμφανίζονται ως 'ασύμφωνα' γεγονότα με βάση τις μαθητικές αντιλήψεις και τον τρόπο ερμηνείας των μαθητών (π.χ. η οξειδωση του χαλκού και η καύση του μαγνησίου και η μετατροπή τους σε χαλκό με μαύρο επίστρωμα ή σε 'στάχτες' που έχουν μεγαλύτερη μάζα από την αρχική μάζα του μετάλλου) και οι διάφορες μαθητικές συζητήσεις για τα φαινόμενα αυτά και τον τρόπο ερμηνείας τους μπορούν να υποβοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό την υπέρβαση των γνωστικών εμποδίων των μαθητών.

Τα παιδαγωγικά τμήματα των πανεπιστημίων, αλλά και άλλες πανεπιστημιακές σχολές και τμήματα, πρέπει απαραίτητα να αξιοποιούν προσεγγίσεις οικοδομιστικές με στόχο την εννοιολογική αλλαγή. Ανάλογες προσεγγίσεις πρέπει απαραίτητα να αξιοποιούνται και από τους εκπαιδευτικούς στις σχολικές τάξεις. Είναι φυσικά αναγκαίο να επισημανθεί ότι επιβάλλονται και πολλές άλλες αλλαγές σε σχέση με τα ακολουθώμενα αναλυτικά προγράμματα, τα σχολικά εγχειρίδια, το μαθησιακό κλίμα της σχολικής τάξης, τις διαδικασίες αξιολόγησης και την προϋπηρεσιακή και ενδοϋπηρεσιακή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Οι διδακτικές εποικοδομητικές προσεγγίσεις που καθοδηγούνται από ερευνητική μαρτυρία αποτελούν προοπτική για αποτελεσματική διδασκαλία και μάθηση.

Για αποτελεσματική εφαρμογή ανάλογων προσεγγίσεων απαιτείται συστηματική ενημέρωση των εκπαιδευτικών για τις προηγούμενες αντιλήψεις των μαθητών τους και την πολυπλοκότητα της χημικής γνώσης και των χημικών εννοιών με βάση την πολύ-επίπεδη αναπαράσταση της ύλης (μακρο-επίπεδο, μικρο-επίπεδο και συμβολικό επίπεδο) και των χημικών μεταβολών της, που συναποτελούν ένα εννοιολογικό

τρίποδα ή τρίγωνο. Αυτό είναι επίσης χρήσιμο και για τη συστηματική υποβοήθηση της προσπάθειας των εκπαιδευτικών για αποδοτική διδασκαλία, που προϋποθέτει την κατανόηση της σχέσης διδασκαλίας και μάθησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν ότι οι μαθητές δεν οδηγούνται σε εννοιολογική κατανόηση και ότι δεν είναι πάντοτε σε θέση να αξιοποιούν την 'κονσερβοποιημένη' γνώση που απομνημόνευσαν και τις χημικές έννοιες σε νέες καταστάσεις ή σε μεταγενέστερη εξέταση. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας ακόμα και μαθητές με υψηλές επιδόσεις στη χημεία αδυνατούσαν να κατανοήσουν βασικές χημικές έννοιες ή θεωρίες. Είναι φανερό ότι χρειάζονται εναλλακτικές μορφές εξέτασης για εντοπισμό των αδυναμιών και των εννοιολογικών κενών των μαθητών για την κατανόηση των διαφορών μεταξύ των τριών επιπέδων αναπαράστασης της ύλης και των σχέσεων που τα συνδέουν. Είναι επίσης απαραίτητο να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν μαθησιακά διδακτικά περιβάλλοντα, όπου οι μαθητές θα υποκινούνται με πολλαπλούς τρόπους να εκφράσουν τις αντιλήψεις τους και τους τρόπους με τους οποίους κατανοούν ή ερμηνεύουν τα διάφορα φαινόμενα. Τα περιβάλλοντα αυτά πρέπει να δίνουν δυνατότητες επικοινωνίας και συνεργασίας με άλλους μαθητές και να δημιουργούν τις προϋποθέσεις, όπου οι μαθητές θα εμπλέκονται συστηματικά σε δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων ή συζητήσεων σε μικρές ομάδες. Στη συνέχεια πρέπει ασφαλώς να δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να ανακοινώνουν τα αποτελέσματα της εργασίας τους προφορικά ή με άλλους τρόπους αξιοποιώντας ταυτόχρονα και τις νέες τεχνολογίες.

Κάθε βελτίωση του διδακτικού-μαθησιακού περιβάλλοντος φαίνεται ότι σχετίζεται απόλυτα με την ικανότητα των εκπαιδευτικών να εμπλέκουν τους μαθητές ενεργά στη διδασκαλία και να ακούουν με υπομονή και προσοχή τις μαθητικές απόψεις και συζητήσεις. Θεωρείται περιττό να επισημανθεί ότι προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης στη χημεία μπορούν να επιλυθούν ή να αμβλυνθούν με προσεκτική εξέταση των τρόπων και του βαθμού κατανόησης και μάθησης των μαθητών. Φυσικά η εξέταση αυτή διευκολύνεται όταν οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά σε επικοινωνία παρά όταν παραμένουν παθητικοί αποδέκτες της ομιλίας και των ρητορικών τοποθετήσεων των εκπαιδευτικών. Από τη στιγμή που υπάρχει κλίμα εμπιστοσύνης, αποδοχή και ειλικρινής και αμοιβαία ανταλλαγή ιδεών, όλοι οι μαθητές μπορούν σταδιακά να οδηγηθούν σε εννοιολογική κατανόηση και ανώτερες μορφές σκέψης. Η συστηματική μας ενασχόληση με τις μαθητικές αντιλήψεις μπορεί να βελτιώσει την κατανόησή μας για τους τρόπους ή τις διαδικασίες μάθησης και να οδηγήσει στο σχεδιασμό μαθητοκεντρικών και γνωσιοκεντρικών περιβαλλόντων μάθησης.

Είναι επίσης σημαντικό να υποδειχθεί ότι βοηθώντας τους μαθητές να κατανοήσουν τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της ύλης, υποβοηθούμε ταυτόχρονα την εννοιολο-

γική τους κατανόηση (Gabel, 1999:549). Η προσπάθεια αυτή σχετίζεται επίσης με τη χρήση αναλογιών και μοντέλων στη διδασκαλία, που απαραίτητα πρέπει να συνδέεται με τη χρήση των χημικών συμβόλων. Είναι γνωστό ότι ισχυρό εργαλείο για τη μάθηση στη χημεία ή τις φυσικές επιστήμες γενικότερα αποτελεί η εργαστηριακή εργασία των μαθητών. Στο εργαστήριο, οι μαθητές πραγματοποιούν παρατηρήσεις στο μακρο-επίπεδο, αλλά καλούνται χωρίς ουσιαστική βοήθεια να ερμηνεύσουν τα δεδομένα τους στο μικρο-επίπεδο και μάλιστα με τη χρήση της συμβολικής γλώσσας της χημείας ή με αναπαραστάσεις στο συμβολικό επίπεδο. “Το κυριότερο όμως εμπόδιο για κατανόηση της χημείας δεν πρέπει να αποδίδεται στα επίπεδα αναπαράστασης της χημικής γνώσης” (Gabel, 1999:549), αλλά στις διδακτικές προσεγγίσεις που ακολουθούνται. Δεν υποστηρίζεται φυσικά ότι πρέπει πάντοτε η διδασκαλία να συνδέει τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της ύλης και των μετασχηματισμών της, όπως αυτό προτάθηκαν στο τριγωνικό μοντέλο του Johnstone (1991). Είναι όμως σημαντικό να κατανοηθεί από τους εκπαιδευτικούς η τριαδική σχέση και αλληλεξάρτηση των τριών τρόπων αναπαράστασης της ύλης, ώστε με ευκολία να τις κοινοποιούν στους μαθητές τους συνειδητοποιώντας τα προβλήματα κατανόησης που αντιμετωπίζονται. Μόνο με συστηματική βοήθεια από τους εκπαιδευτικούς μπορούν οι μαθητές να ενσωματώσουν τους τρεις τρόπους αναπαράστασης της ύλης σε ενιαίο και παραγωγικό γνωστικό σχήμα. Θα δημιουργηθούν τότε και ικανοποιητικές προϋποθέσεις για αναδόμηση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών και τη συμπλήρωση των εννοιολογικών κενών που παρουσιάζονται, οδηγώντας τους μαθητές σε πληρέστερη εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου της χημικής γνώσης.

Οι διαπιστώσεις αυτές έχουν πολλές φορές διατυπωθεί και συζητηθεί, ενώ έχουν αναληφθεί και σημαντικές προσπάθειες για την υλοποίησή τους. Μερικές από τις προσπάθειες αυτές χαρακτηρίζονται από αισιόδοξα μηνύματα και προσδοκίες για συστηματική υποβοήθηση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εργασία της Driver και των συνεργατών της στο πρόγραμμα CLIS (Children’s Learning in Science, 1987). Ανάλογα παραδείγματα περιγράφονται στη δημοσίευση του Anderson (1990). Παρά τις πολλές προσπάθειες και τη συσσωρευμένη γνώση που αποκτήθηκε, εξακολουθεί όμως να διατηρείται μία ‘συστημική αποτυχία’ (de Jong, 2000a) και έχει επανειλημμένα διαπιστωθεί ότι η ερευνητική μαρτυρία και οι συνακόλουθες εισηγήσεις δε βρίσκουν εύκολα εφαρμογή στις σχολικές τάξεις (Costa κ.ά., 2000; de Jong, 2000a; Taber, 2001a). Οι εκπαιδευτικοί τις περισσότερες φορές δεν αντιλαμβάνονται τις πραγματικότητες που κυριαρχούν στις σχολικές τάξεις και η γνώση τους για αποδοτικές διδακτικές προσεγγίσεις δε φαίνεται να αντιμετωπίζει τις πραγματικές μαθησιακές δυσκολίες και τα εννοιολογικά κενά των μαθητών (van Driel κ.ά., 2001).

Η συμμετοχή των εκπαιδευτικών σε ανάλογες προσπάθειες αποτελεί ίσως μονόδρομη επιλογή για γεφύρωση του χάσματος μεταξύ έρευνας και σχολικής πράξης, αφού μπορεί να ενθαρρύνει διδακτικές προσεγγίσεις καθοδηγημένες από ερευνητική μαρτυρία. Μόλις πρόσφατα “έχουν πλήρως κατανοηθεί οι δυνατότητες αυτής της στρατηγικής για ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στο διδακτικό-μαθησιακό κλίμα της σχολικής τάξης” (Hofstein, 2001:13). Για παράδειγμα, η καθηγήτρια που συμμετείχε στη συγκεκριμένη έρευνα αντιμετώπισε πολλές απρόσμενες καταστάσεις και συνειδητοποίησε δυσκολίες και αντιλήψεις των μαθητών που για χρόνια δεν είχε συναντήσει. Με τον τρόπο αυτό και με την επαφή και τις συζητήσεις της με άλλους ερευνητές σε κλίμα αμοιβαίας αποδοχής και συνεργασίας βοηθήθηκε να εμπλουτίσει το διδακτικό της ρεπερτόριο σχεδιάζοντας οικοδομιστικές προσεγγίσεις με βάση τα ευρήματα της δικής της έρευνας. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, οι δικές της πλούσιες εμπειρίες και γνώσεις βοήθησαν τους ερευνητές να αποκτήσουν καλύτερη εικόνα των δυσκολιών επικοινωνίας που δημιουργεί η σχολική τάξη και το βαρυφορτωμένο σχολικό πρόγραμμα.

Υπάρχουν φυσικά και άλλοι λόγοι που συνηγορούν για την ευρύτερη χρήση έρευνας δράσης με συμμετοχή των εκπαιδευτικών. Για παράδειγμα, με ανάλογες προσπάθειες είναι δυνατό να περιοριστεί η χρονική απόσταση από τη στιγμή που διατυπώνονται τα ερευνητικά πορίσματα μέχρι τη στιγμή υιοθέτησης τους σε σχολικές τάξεις. Επιπρόσθετα, τα ευρήματα ανάλογων προσπαθειών εμφανίζονται περισσότερο αυθεντικά και σημαντικά για τους εκπαιδευτικούς. Είναι φυσικά αδύνατο να αναληφθούν από την αρχή σημαντικές προσπάθειες έρευνας δράσης, αφού χρειάζονται αρκετές προσπάθειες μέχρι να πεισθούν οι εκπαιδευτικοί να συμμετέχουν και να μνηθούν σε ορθές ερευνητικές διαδικασίες. Αναμφίβολα όμως, η προσπάθεια αυτή μπορεί να δώσει σημαντικά αποτελέσματα, αφού με τον τρόπο αυτό οι εκπαιδευτικοί έχουν ευκαιρίες να οικοδομούν τη δική τους ‘παιδαγωγική γνώση περιεχομένου’ (Shulman, 1986) και να αναπτύσσονται επαγγελματικά. Αυτό είναι ασφαλώς προτιμότερο παρά να παραμένουν αμέτοχοι της ερευνητικής δραστηριότητας ή παθητικοί αποδέκτες ή καταναλωτές ερευνητικών πορισμάτων, τα οποία δε θεωρούν ότι έχουν σχέση με τους ίδιους και τη διδακτική τους δραστηριότητα. Είναι άλλωστε αποδεκτό ότι η έρευνα δράσης αναπτύχθηκε και θεμελιώθηκε ως συνεχής και δυναμική διαδικασία για αλληλοενημέρωση και κριτικό αναστοχασμό με στόχο τη βελτίωση του διδακτικού-μαθησιακού κλίματος.

Πρέπει τέλος να επισημανθεί ότι η ερευνητική μαρτυρία που συγκεντρώθηκε είναι εξειδικευμένη και αποτελεί σημαντικούς δείκτες για βελτίωση της διδασκαλίας και μάθησης σε σχέση με την οξείδωση / καύση. Δυστυχώς, υπάρχουν πολύ λίγες ενδείξεις για γενικές αρχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ευρύτερο κύκλο

θεμάτων. Παρόλα αυτά τα ευρήματα παρέχουν ικανοποιητικές ενδείξεις για την 'πολυμορφία' του μαθητικού πληθυσμού μιας σχολικής τάξης, αφού οι εμπειρίες και οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών ποικίλλουν σημαντικά. Η τάση αυτή φαίνεται να διευρύνεται με σημαντικούς ρυθμούς μετά την κυρίαρχη επικράτηση των σύγχρονων τεχνολογιών. Αναπόφευκτα, η διδασκαλία της χημείας απαιτεί ενσωμάτωση και συστηματική αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών στη διδασκαλία και μάθηση. "Η αναδόμηση των μαθημάτων χημείας με τη χρήση υπολογιστών θα διευρύνει τη σημασία της έρευνας για τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, αφού οι υπολογιστές μπορούν να ενσωματώσουν διαδικασίες διερεύνησης των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών", διότι "όταν οι μαθητές βυθίζονται σε εικονική πραγματικότητα, τότε ο πλούτος της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτικότερη μάθηση, αναδεικνύοντας έτσι μια άλλη καρποφόρα περιοχή έρευνας" (Gabel, 1999:553).

## Αναφορές

- Ahtee, M. & Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical change. *International Journal of Science Education*, 20, 305-316.
- Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70, 549-563.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformation (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Bencze, L. & Hodson, D. (1999). Changing practice by changing practice: Toward more authentic science and science curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 521-539.
- Boo, H. K. (1998). Students' understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 569-581.
- Boo, H. K. & Watson, J. R. (2001). Progression in high school students' (aged 16-18) conceptualisations about chemical reactions in solution. *Science Education*, 85, 568-585.
- BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 689-704.
- Butts, B. & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, 17, 192-201.
- CLIS (1987). Approaches to teaching the particulate nature of matter, Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds
- Costa, N., Marques, L. & Kempa, R. (2000). Science teachers' awareness of findings from education research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 31-36.
- de Jong, O. (2000a). Crossing the borders: chemical education research and teaching practice. *University Chemistry Education*, 4(1), 29-32.

- de Jong, O. (2000b). How to teach the concept of heat of reaction: A study of prospective teachers' initial ideas. *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1, 91-96.
- de Vos, W. & Verdonk, A. H. (1986). A new road to reactions. Part 3: Teaching the heat effect of reactions. *Journal of Chemical Education*, 63, 972-975.
- Ebenezer, J. V. & Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: A phenomenography. *Science Education*, 80, 181-201.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Participatory Action Research in Chemical Education. In B. Ralle & I. Eilks (Eds.), *Research in Chemical Education - What does this mean?. Proceedings of the 16th Symposium on Chemical Education at the University of Dortmund* (pp. 87-98). Aachen: Shaker.
- Feldman, A. (1996). Enhancing the practice of physics teachers: Mechanisms for the generation and sharing of knowledge and understanding in collaborative action research. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 513-540.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look for the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.
- Garnett, J. S., Garnett, J. S. & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 14, 147-156.
- Gomez, M. - A., Pozo, J. - I. & Sanz, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: Effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79, 77-93.
- Goodwin, A. (2000). The teaching of chemistry: Who is the learner?. *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1, 51-60.
- Harisson, A. G. & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of molecules: Implications for teaching chemistry. *Studies in Science Education*, 80, 509-534.
- Harisson, A. G. & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Studies in Science Education*, 84, 353-381.
- Hesse, J. J. III, & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 277-299.
- Hofstein, A. (2001). Why action research?. In N. Valanides (Ed.), *Proceedings of the 1st IOSTE Symposium in Southern Europe-Science and technology education: Preparing future citizens*, II, 2-15, Nicosia. Cyprus: Imprinta Ltd.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn?. Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johnson, S. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20, 393-412.
- Johnson, S. (2000). Children's understanding of substances, part I: Recognising chemical change. *International Journal of Science Education*, 22, 719-737.
- Johnson, S. (2000). Children's understanding of substances, part I: Recognising chemical change. *International Journal of Science Education*, 22, 719-737.

- Krajcik, J. (1991). Development of students' understanding of chemical concepts. In S. Glynn, R. Yeany & B. Britton (Eds.), *The Psychology of learning science* (pp. 117-147). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Krnel, D., Watson, R. & Glazer, A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20, 257-289.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 249-270.
- Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69, 191-196.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 63, 273-281.
- Park, H. M. & Coble, C. R. (1997). Teachers designing curriculum as professional development: A model for transformational science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 773-790.
- Schmidt, H. J. (1997). Student's misconceptions - Looking for a pattern. *Science Education* 81, 123-135.
- Schmidt, H. J. (2000). Should chemistry lessons be more intellectually challenging?. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 17-26.
- Solomon, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 1-19.
- Stavridou, E. & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganisation and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20, 205-221.
- Taber, K. S. (2001a). Constructing chemical concepts in the classroom: Using research to inform practice. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 43-51.
- Taber, K. S. (2001b). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 123-158.
- Taber, K. S. & Watts, M. (2000). Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 329-353.
- Valanides, N. (2000a). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 249-262.
- Valanides, N. (2000b). Primary student teachers' understanding of the process and effects of distillation. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 355-364.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2002). Challenges in achieving scientific and technological literacy: Research directions for the future. *Science Education International*, 13(1), 2-7.

- Valanides, N., Nicolaidou, A. & Eilks, I. (2003). Twelfth-grade students' understandings of oxidation and combustion: using action research to improve teachers' practical knowledge and teaching practice. *Journal of Science & Technology Education*, 21(2), 59-75.
- van Driel, J. H., Beijaard, D. & Verloop, N. (2001). Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 137-158.
- Yarroch, W. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 449-459.